Untersuchungen

über

Bewurzelung und Bestockung

einiger Getreidesorten.

Inaugural-Dissertation,

welche nebst den beigefügten Thesen

mit Genehmigung der

Hohen philosophischen Fakultät der Kgl. Universität Breslau

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

am Montag, den 18. April 1904, vormittags 10½ Uhr

in der Aula „Leopoldina“ der Universität

öffentlich verteidigen wird

Kurt Opitz
aus Semmelwitz.

ACAD. LAND. BAT. BIBL.

Opponenten: Dr. phil. Schulte-Bäuminghaus.
cand. agr. Willner.

Merseburg.
Druck von Friedrich Stollberg.
1904.

Inhalt.

Seite

Einleitende Bemerkungen 1

Gesetzmässigkeiten in der Wurzelentwickelung unserer Kulturpflanzen 2

Die die Wurzelentwickelung beeinflussenden Faktoren nebst einer Schilderung des Bestockungsvorganges (beide Abschnitte an der Hand der einschlägigen Literatur) . 13

Physikalische Einflüsse 14

Chemische Einflüsse 23

Das aus der Literaturbesprechung gezogene Fazit 29

Die Versuchsanstellung.

Versuch I. Das Bewurzelungsvermögen der Getreidearten und einiger Sorten im Vergleiche miteinander 30

Versuch II. Bewurzelung und Bestockung bei verschiedener Standweite 33

Versuch III. Bewurzelung in verschiedenen Böden 33

Verlauf der Vegetation und Pflege der Saaten 34

Die Untersuchung.

Versuch I. Beschreibung der Untersuchungsmethode 36

Die Beschreibung des Bodens 38

Die Resultate des Versuches I 44

Versuch II. Bewurzelung und Bestockung bei verschiedenem Standraum der Pflanzen 52

Versuch III. Bewurzelung und Bodenqualität 58

Tiefenwachstum der Getreidewurzeln nach verschiedenen Vorfrüchten 60

Zusammenfassung und Schluss 62

Literatur 65

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543101_0027

Wie über viele vordem unaufgeklärte Vorgänge in der Natur, so haben uns die epochemachenden Entdeckungen grosser Forscher der letzten 150 Jahre auch über die bei der Bildung von Pflanzensubstanz sich abspielenden Prozesse und, was noch bedeutungsvoller und die Grundlage hierzu ist, auch über die Quellen der pflanzlichen Nahrung und damit über den Born, welcher die gesamte organische Welt erhält, das Licht der Erkenntnis gebracht.

Aus zwei verschiedenen Quellen schöpft die höhere Pflanze den Stoff zu ihrem Körperaufbau, erstens aus der Atmosphäre und zweitens aus dem Erdreich. Die beiderlei Nährstoffaufnahme vermittelnden Glieder oder Organe der Pflanze sind das grüne Blatt und die Wurzel. Während aber das grüne Blatt auch unserer verwöhntesten und zartesten Kulturpflanze den Kohlenstoff der Luft ohne jede künstliche Unterstützung seitens des Menschen, nur vermöge seiner natürlichen wunderbaren Einrichtung unter dem Strahl der Sonne dem pflanzlichen Körper in hinreichender Menge einzuverleiben vermag, erfordert das andere nährstofferschöpfende Glied, die Wurzel unserer meisten Kulturpflanzen, sorgsame Pflege und Unterstützung durch menschliche Hand.

Es geht ja auch über menschliche Kräfte hinaus, den relativ geringen Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre bis zu dem Grade künstlich zu vermehren, dass daraus ein praktischer Nutzen für die Pflanze entstände; — und wenn es der Mensch vermöchte und ausführte, würde er dem anderen grossen Organismenkreise, den Tieren und damit sich selbst ungünstigere Lebensbedingungen schaffen.

Dagegen ist er imstande, zwar den Ackerboden an sich nicht zu verändern, denn dieser ist ebenfalls eine gegebene Grösse und eine menschlichen Einflüssen im ganzen ziemlich unzugängliche Materie, — sehr wohl aber die in demselben sich abspielenden, von der Natur bedingten Vorgänge zu modifizieren und die Standortsverhältnisse für die Pflanze bezw. ihre Wurzel in chemischer und physikalischer Hinsicht durch künstliche Massnahmen zu verbessern, d. h. nichts anderes, als der Mensch vermag

rationellen Ackerbau zu treiben, und indem der Landwirt durch sorgfältige Beobachtung und Anwendung der modernen Ansichten über Bearbeitung und Düngung des Bodens Höchsterträge erstrebt, geht er — oft vielleicht unbewusst — in erster Linie darauf aus, der Pflanzenwurzel zu den günstigsten Wachstumsbedingungen zu verhelfen. Das klassische Wort Justus v. Liebigs: „Die Kenntnis der Wurzeln unserer Kulturpflanzen ist die Grundlage zu einem rationellen Ackerbau" kann der modernen Landwirtschaft daher nicht genug zur Beachtung und Befolgung empfohlen werden.

Gesetzmässigkeiten in der Wurzelentwickelung unserer Kulturpflanzen.

Die Botanik liefert uns durch ihre Lehren über Morphologie und Anatomie der Pflanze die Basis zum Studium der Wurzeln der Kulturgewächse.

So wissen wir, dass die Anlage zum primären Würzelchen bereits im Samen der höheren Pflanzen vorhanden ist, wo sie zusammen mit dem hypokotylen Glied die Radikula des Embryos bildet, dass sie bei der Keimung zuerst, zum Schutz mit einer Wurzelhaube bedeckt, aus der Samenschale hervortritt, dass ihre wachstumsfähige Zone sich nur auf wenige Millimeter oberhalb der Wurzelhaube erstreckt, und sie sich ebenso wie der oberirdische Spross verzweigt, d. h. Nebenwurzeln 1., 2. und höherer Ordnung bildet, welche gewöhnlich basifugal, aber auch oft als Adventivbildungen innerhalb älterer, schon abgestorbener entstehen.

Ihre Bildung erfolgt endogen, da sich ihre Anlage im Perikambium befindet, und ihre Anordnung gleich der der Seitensprosse in Orthostichen, deren Zahl von der Zahl der Gefässbündelstränge des Mutterorgans abhängt, denn sie entstehen an der Aussenseite der parallel nebeneinander laufenden Phloembündel.

Ein weiteres Charakteristikum für die Wurzel ist der Umstand, dass sie im Gegensatz zu den Sprossen nie Blätter bildet. Man kennt ihren positiven Geotropismus und den für gewöhnlich negativen Heliotropismus und weiss, dass ihre Funktionen in der Befestigung der Pflanze im Boden und in der Wasser- und Nährstoffaufnahme namentlich durch Vermittlung der Wurzelhaare bestehen.

Diese allgemeinen botanischen Kenntnisse haben nun schon vor mehr als 3 Jahrzehnten, namentlich auf Liebigs Mahnung hin, theoretische und praktische Landwirte auf das Studium das Wurzeln unserer Kulturpflanzen angewandt, um daraus praktisch für den Ackerbau verwertbare Folgerungen ziehen zu können. So liegen ältere Arbeiten von H. Thiel,[1]) C. Fraas,[2]) Müller-Thurgau[3]) und aus jüngerer Zeit Abhandlungen von Werner-Berlin und Schultz-Lupitz[4]) vor, welche die wichtigsten bekannten Tat-

[1]) H. Thiel, Bewurzelung, 1865 (war im Original nicht mehr zu haben).

[2]) C. Fraas, Das Wurzelleben der Pflanzen, 1871.

[3]) Müller-Thurgau, Über Wachstum und Bedeutung der Wurzeln; Landw. Jahrbücher 1875, S. 999.

[4]) Werner und Schultz, Berichte; Jahrbuch der D. L.-G. 1891, S. 71.

sachen, das Wurzelleben betreffend, zu einem Gesamtbilde zusammenfassen. Kann auch hier nicht auf die Einzelheiten jeder dieser Schriften eingegangen werden, so sei doch hervorgehoben, dass in allen die interessante Tatsache konstatiert wird, dass nicht bloss allgemeine Gesetzmässigkeiten über die Wurzelentwickelung der Pflanzen überhaupt bestehen, sondern dass jede Art und Varietät ebenso wie beim Wachstum ihrer oberirdischen Organe, so auch bei der Entwickelung ihres Wurzelsystems nach einem bestimmten, ihr von der Natur vorgezeichneten Plane verfährt.

In erster Linie tritt ein prinzipieller Unterschied der Bewurzelung der Monokotyledonen und Dikotyledonen hervor. Denn nur bei diesen entwickelt sich das primäre Würzelchen zur Haupt- oder Pfahlwurzel, welche als Mutterorgan für die Nebenwurzeln und das sich bildende feine und vielverzweigte Netz feinster Faserwürzelchen von einschneidender Bedeutung für das Leben der Pflanze ist und wohl bei manchen Arten im Falle einer Verletzung oder Vernichtung durch Nebenwurzeln in ihrer Funktion ersetzt, im allgemeinen aber nicht entbehrt werden kann.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Monokotyledonen.

Freilich tritt auch hier das primäre Würzelchen zuerst aus der Samenschale heraus. Aber bereits am Embryo finden sich z. B. bei den Zerealien, bei welchen diese Dinge am besten untersucht sind, nach Nowacki die Anlagen zu 2 Seitenwürzelchen, und die Zahl der kurze Zeit nach dem Erscheinen der primären, aus dem Keimling hervorbrechenden Keimwürzelchen beträgt — bei unseren Hauptgetreidearten wenigstens — etwa 3—8.[1])

Durch starke Verzweigung entsteht nun noch im Jugendstadium der Pflanze ein reich verzweigtes Wurzelsystem, welches jedoch in der weiteren Entwickelung allmählich abgelöst wird durch zahlreiche Adventiv- oder Kronenwurzeln, deren Entstehungsort gewöhnlich der erste Knoten am Hälmchen der jungen Pflanze ist, welcher bei normaler Aussaattiefe wenige Millimeter unter der Erdoberfläche liegt. Wird das Saatkorn tiefer als gewöhnlich, etwa 8 oder 10 cm in den Boden versenkt, dann ist das Hälmchen gezwungen, mehrere unterirdische Internodien zu bilden; von jedem der unterirdischen Knoten aber sendet die Pflanze unter diesen Umständen Adventivwurzeln aus, „so dass dann 2, 3 oder mehr Wurzelkränze etagenförmig übereinander zu stehen kommen“.

Die Bildung von Adventivwurzeln aus Stammteilen und unter Umständen sogar aus Blättern ist freilich keine Eigentümlichkeit der Monokotyledonen allein, sondern kann auch bei vielen Dikotyledonen, z. B. beim Raps oder Klee beobachtet werden, gleichwohl ist sie eine bei den Gramineen besonders häufig auftretende und daher für sie charakteristische Erscheinung.

Als scharfer Unterschied in der Bewurzelung der beiden grossen Gruppen der Angiospermen aber ist festzuhalten: bei den Monokotyledonen ein Faserwurzelsystem, bei den Dikotyledonen in der Regel andauernde Existenz der sich zur meist kräftigen Pfahlwurzel ausbildenden primären Wurzel.

---

[1]) Nowacki, Getreidebau S. 51.

[2]) Ebenda S. 57.

Die hier geschilderten prinzipiellen Divergenzen im Bewurzelungsmodus der Dikotyledonen treten besonders in den oben zitierten Abhandlungen Werners und Schultz's in den Vordergrund. Danach ergibt sich eine sehr einfache und natürliche Einteilung unserer Kulturpflanzen in Pfahlwurzler und Faserwurzler. Zur ersten Gruppe gehören, wenn wir hier nur die Pflanzen mit besonders hohem Kulturwert berücksichtigen, in erster Linie die Leguminosen, dann die Brassica- und Beta-Arten, der Lein, der Hanf, der Buchweizen, der Senf etc., zur zweiten die Gramineen.

Die Kartoffel allerdings bildet, obgleich eine dikotyle Pflanze, gleichfalls ein Faserwurzelsystem, indem aus jedem Knoten ihrer Stolonen ein Büschel Adventivwurzeln entsteht; doch ist dies nur eine Folgeerscheinung ihrer vegetativen Fortpflanzung; würde sie gleich den meisten übrigen Feldfrüchten auf geschlechtlichem Wege vermehrt und kultiviert, dann wäre die Bildung einer Pfahlwurzel die natürliche Folge.

Es liegt in der Natur der Sache, dass der Bewurzelungstypus jeder einzelnen Art bei den Pfahlwurzlern ungleich besser zur Geltung kommen kann, als bei Faserwurzlern. Denn die Seitenzweige lehnen sich dort an die Hauptaxe als das führende und bahnbrechende Moment an, wodurch sie eine viel regelmässigere Ausbildung erfahren. Bei den Faserwurzlern dagegen ist jede der vielen an sich schon dünnen Wurzelfasern 1. Ordnung sich selbst überlassen und genötigt, die Hindernisse im Boden zu umgehen; Gesetzmässigkeiten werden sich also hier viel schwieriger herausfinden und feststellen lassen.

Bedenkt man nun noch, mit wie grossen rein mechanischen Schwierigkeiten man zu kämpfen hat, um den Wurzelverlauf der Zerealien im Boden zu beobachten oder auch nur annähernd die ganze Wurzelmasse zwecks ihrer quantitativen Bestimmung zu gewinnen, ein Übelstand, der bei den Pfahlwurzlern weit weniger in den Vordergrund tritt, und ferner, dass speziell die Wurzeln der Leguminosen infolge ihrer Knöllchenbildung, welche sie zur Assimilation des freien Stickstoffs befähigt, sowie ihrer schon früh erkannten grossen Bewurzelungsenergie den Forschungstrieb der Fachwissenschaft in hohem Grade erwecken mussten, so ist leicht verständlich, weshalb über die Leguminosen so ins einzelne gehende Wurzelstudien vorliegen, wie wir sie bei andern Kulturpflanzen vermissen.

Mit Spezialuntersuchungen über Leguminosenwurzeln haben sich Fruwirth, Hellriegel, C. Kraus u. a. befasst.

Als unterscheidendes Moment zwischen den einzelnen Arten und Varietäten benutzten diese Forscher das Verhältnis der Hauptwurzeln zu den Nebenwurzeln, und je nachdem die Hauptwurzel eine mehr oder weniger dominierende Stellung einnimmt, ergeben sich nach Fruwirth 3 Typen:[1])

1. Die Pfahlwurzel tritt besonders in den Vordergrund, dringt tief in den Boden ein und überwindet Hindernisse relativ leicht. Die Nebenwurzeln treten sehr in den Hintergrund, die 1. Ordnung erscheinen spärlich und zerstreut und erst weiter unten am Mutterorgan, sind aber dicker als bei den anderen Typen; die 2. Ordnung werden sehr

[1]) Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik Bd. 18, S. 461.

spät und spärlich gebildet. Typisch hierfür sind die verschiedenen Arten von lupinus, innerhalb welcher aber auch wieder Unterschiede auftreten.

2. Die Hauptwurzeln sind noch sehr lang, aber empfindlicher und dünner als beim 1. Typus. Starke Nebenwurzelbildung, besonders am oberen Teile des Mutterorgans. Hier sind 2 Untergruppen zu unterscheiden:
   a) Hauptwurzel dick, Nebenwurzeln seitlich weit verbreitet: Vicia Faba, Vicia sativa, Cicer arietinum.
   b) Hauptwurzel dünner, Nebenwurzeln von geringerer seitlicher Erstreckung, das ganze Wurzelsystem also schwächer: Lathyrus sativus, Pisum, Ervum, Lens esculenta, Ornithopus sativus.
3. Hauptwurzel noch dick, aber kurz und sehr empfindlich, von den zahlreichen und stark verzweigten Nebenwurzeln leicht ersetzbar; seitliche Erstreckung daher am mächtigsten: Phaseolus- und Vigna-Varietäten, Soja hispida.

Des weiteren stellt Fruwirth eine Reihe allgemeiner Gesetzmässigkeiten auf: Die Tiefenerstreckung der Wurzeln übertrifft in allen Zeiten die Höhenentwicklung der Sprosse; mit dem beiderseitigen Gewicht ist es umgekehrt, aber im jugendlichen Stadium ist der Anteil der Wurzeln am Gesamtgewicht der Pflanze weit höher als später.

In Übereinstimmung mit diesen Betrachtungen von Fruwirth konstatieren Kraus und Hellriegel die innigen Beziehungen zwischen Wurzel- und Sprossenwachstum; letzterer betont,[1]) dass die Orthostichen der Nebenwurzeln in offenbarer Beziehung zu den Blattgebilden stehen, dass ihre Zahl, Stellung und Wachstumsenergie bei den einzelnen Pflanzen aber ungleich und für die Art charakteristisch sei, und in ganz ähnlicher Weise hebt Kraus hervor,[2]) dass höchstwahrscheinlich ganz abgesehen von der gegenseitigen Nahrungsversorgung von Wurzeln und oberirdischen Organen ein innerer Zusammenhang zwischen Wurzel- und Stengelentfaltung besteht, und dass erst bei genügender Entfaltung der Wurzel der Stengel sozusagen ausgelöst wird.

Auch Hellriegel unterscheidet wie Fruwirth 3 Wurzeltypen: einen Lupinus-Typus, einen Vicia Faba- und einen Pisum sativum-Typus; er trennt, wie wir sehen, letztere beiden Typen, welche bei Fruwirth unter eine Hauptgruppe zusammenfallen, noch schärfer als dieser und hebt besonders die strenge Gesetzmässigkeit im Wurzelaufbau der Bohne hervor.

Die C. Krausschen „Untersuchungen über Bewurzelung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung“[3]) sind sehr umfangreich, eine Fundgrube wertvollen Materials.

Hier können zunächst nur diejenigen über die gesetzmässige Wurzelentwicklung der Pfahlwurzler Berücksichtigung finden, die übrigen, sich mit verschiedenen Einflüssen auf das Wurzelwachstum befassenden können erst weiter unten gewürdigt werden. Rein morphologische Beobachtungen des Wurzelhabitus jeder einzelnen Art, über Tiefgang, seitliche Ausdehnung,

---

[1]) Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaus S. 118 ff.

[2]) Wollny, Forschungen Bd. 15, S. 234 ff.

[3]) Ebenda Bd. 15—19.

Verhältnis der Wurzel- zur oberirdischen Pflanzenmasse und Regenerationsfähigkeit der Pfahlwurzel bezw. ihre Entbehrlichkeit für die Pflanze, wobei wiederum die 3 Fruwirthschen Typen ziemlich deutlich hervortreten, gestatten Schlüsse auf die Anforderungen der einzelnen Arten an Boden- und Düngungsverhältnisse: „Wie der Tiefgang der Wurzeln, der bei allen Arten auf lockerem Boden grösser ist als auf festem, so ist auch bei sonst gleichen Verhältnissen die Reichlichkeit der Befaserung, die Ausgiebigkeit und Nachhaltigkeit der Vermehrung und des Ersatzes durch Adventivbildungen, sowie die Ausdehnung der seitlichen Bewurzelung verschieden. Von dem spezifischen Wurzelvermögen der einzelnen Arten ist es abhängig, ob sie mit ihren Wurzeln die Grenze der von der Kultur gelockerten und der darunter befindlichen festen Bodenschicht überschreiten können oder nicht."

Danach ergibt sich eine Differenzierung in Krume- und Untergrundwurzeln, mit welcher jedoch die Unterscheidung in Trieb- oder Dauerwurzeln und in Nahrung aufnehmende Saugwurzeln natürlich nicht identisch ist. Als 3. und 4. Typus der Funktion nach kommen nach Rimbach[1]) die Speicherwurzeln — z. B. die Pfahlwurzeln der Beta-Arten — und die für alle jüngeren Pflanzen bedeutungsvollen Zugwurzeln hinzu, welche durch Kontraktion in der Längsrichtung den jungen Spross in die Erde ziehen und im Boden fest verankern. Eine Funktion jedoch schliesst eine andere nicht aus, und man weiss sehr wohl, dass z. B. selbst die Wurzeln der jugendlichen Getreidepflanzen und Leguminosen, in erster Linie natürlich Organe der Nährstoffaufnahme, wenn auch nur in beschränktem Mafse als Speicherorgane für dem Boden entzogene Nährstoffe dienen. Da bei dieser Besprechung wohl der Rotklee nicht die ihm gebührende Beachtung gefunden hat, so sei noch hinzugefügt, dass C. Kraus berichtet, dass nach seinen Beobachtungen die bis 8 mm dick werdende Pfahlwurzel dieser wertvollen Pflanze schon bei 40—50 cm Länge aufhöre zu wachsen, sich aber dann vielfach verästele und von oben bis unten eine ziemlich gleichmässige, reichliche und sich immer wieder reproduzierende Befaserung besitze und so auch den Boden der Tiefe nach ausnutzen könne. Im allgemeinen aber lasse das Wurzelsystem des Rotklees erkennen, dass er auf gute Vorbereitung und reichlichen Nährstoffgehalt des Bodens angewiesen ist.[2])

Grundlegende Beobachtungen über die Bewurzelung der Öl- und Gespinstpflanzen bietet die Literatur nur in unzureichender Weise. Doch finden wir bei den vergleichenden Feststellungen von Hellriegel,[3]) dass auf gleichen Flächen und bei gleichen Tiefen Raps von den untersuchten Pflanzen die grösste Anzahl von Nebenwurzeln entwickelte; es folgen nach der Vermutung des Verfassers Rübsen, Lein und Buchweizen, dann auf Grund seiner Beobachtungen die Kleearten, die Bohne, die Erbse, darauf die Getreidearten und zuletzt die Lupine.

Auch Klöcker spricht dem Raps einen noch grösseren Wurzeltiefgang zu als den Leguminosen.[4])

[1]) Jahresbericht für Agrikulturchemie 1899, S. 215.

[2]) Wollny, Forschungen Bd. 18, S. 113 ff.

[3]) Biedermann, Zentralblatt für Agrikultur-Chemie Bd. 12, S. 773 ff.

[4]) Deutsche Landw. Presse 1900, S. 371, 469, 631.

Der Lein besitzt nach den Beobachtungen von C. Kraus[1]) eine feine, sich zwar vielfach verästelnde, aber mit den Nebenwurzeln sich nur 12 cm seitwärts ausbreitende Pfahlwurzel. Die grossen Ansprüche, welche diese Pflanze an Boden und Düngung stellt, berechtigen in der Tat auch zu dem Schluss, dass sie nur ein mässig leistungsfähiges Wurzelsystem besitzt.

Interessante Aufklärung über die hohen Anforderungen der Runkelrübe an Boden und Düngung gibt das Studium ihrer Bewurzelung. Arbeiten von de Vries[2]) und C. Kraus[3]) belehren uns darüber.

Nicht der ganze gewöhnlich als Wurzel bezeichnete Teil der Rübe gehört seiner Anatomie und Entstehung nach zum Wurzelkörper, sondern derselbe zerfällt in Kopf und Hals, welche beide, letzterer als hypokotyles Glied, Stammteile sind, und der darunter befindlichen, Nebenwurzeln bildenden Pfahlwurzel. Die abnorm kurzen Saugwurzeln stehen nur in 2 einander gegenüberliegenden Orthostichen, deren Verlängerung durch die Mitte der Insertionsstelle der beiden Keimblätter geht. Tiefer als 25 cm fanden sich keine Faserwurzeln mehr, sondern nur noch einige lange, fadenförmige, senkrecht eindringende Wurzelstränge, deren Seitenzweige in 3 Orthostichen stehen. So de Vries. Mehrere Vertikalreihen von Nebenwurzeln hat nach Dost auch die Hauptachse der Möhre.[4]) Kraus teilt den ganzen Wurzelkörper der Rübe in 3 Regionen ein: Die oberste enthält die bei weitem grösste Zahl Faserwurzelchen, stärkere Nebenwurzeln fast gar nicht; diese treten erst in der 2. Region stärker auf, während daselbst die Faserwurzeln zurücktreten. Die 3. endlich enthält bis auf einige Seitenstränge kaum noch Nebenwurzeln. Tiefere Bodenbearbeitung befähigt die Rübe zu energischerer, sich weiter nach unten erstreckender Nebenwurzelbildung.

Neue Faserwürzelchen erscheinen oft zwischen den älteren, schon abgestorbenen. Im Notfalle ist die Hauptachse durch Seitenachsen ersetzbar. Eine Vergleichung des Wurzelhabitus verschiedener Rübensorten, wie der Klein-Wanzlebener, der langen roten Futterrübe, der runden gelben Leutewitzer, der Oberndorfer etc., vermag eine Erklärung für ihre verschiedenen Ansprüche an Boden und Düngung zu geben.

Alle Pfahlwurzler haben, das ist eine längst erwiesene Tatsache, die Fähigkeit, mehr oder weniger tief in den Boden einzudringen. Besonders manche Leguminosen gelten als ausgezeichnete Tiefwurzler, und schon in der oben zitierten Arbeit von Fraas: „Das Wurzelleben“ wird ihre stark bodenlösende Wurzelkraft in Gegensatz gestellt zu dem geringen Wurzelvermögen der Zerealien.

Zahlreiche andere Beobachtungen aus späteren Jahren, z. B. von Schultz-Lupitz, Märcker, Orth und vielen anderen, welche dasselbe besagen, könnten hier angeführt werden.

---

[1]) Wollny, Forschungen Bd. 18, S. 113 ff.

[2]) Landw. Jahrbücher Bd. 8, S. 16 und 453.

[3]) Wollny, Forschungen Bd. 11, S. 358.

[4]) Dost, Welchen praktischen Wert hat die Kenntnis des Ackeruntergrundes und der Bewurzelung? Berlin 1898.

Das Vordringen der Wurzeln bis zu 1 m Tiefe ist durchaus normal; viele dringen tiefer ein, vor allem Luzerne und Esparsette, von diesen Pflanzen sollen Wurzeln noch bei 10, ja sogar 20 m Tiefe gefunden worden sein.[1])

Die Vorbedingung dazu ist freilich ein geeigneter, gut durchlüfteter, wenn möglich mergeliger Untergrund. Bemerkenswert ist jedoch, dass Knöllchenbildung nur an den oberen Zonen der Leguminosenwurzeln erfolgt, in der Regel nur bis zu 40 cm Tiefe.[2])

Dass manche Arten bei entsprechenden Bodenverhältnissen einen Teil ihres Nährstoffbedarfs aus dem Untergrunde decken, ist nicht zu bezweifeln, selbst wenn sich in der Literatur von berufener Seite ausgehende Angaben finden, welche diese Meinung energisch bekämpfen,[3]) und sich ein angesehener Professor für die Äusserung, der Rotklee schöpfe seine Nahrung hauptsächlich aus dem Untergrunde, eine herbe Zurechtweisung gefallen lassen muss.

Eine hohe wirtschaftliche Bedeutung der Leguminosen als Vorfrüchte, als Regulatoren für den Wasserhaushalt des Bodens, überhaupt als die physikalische Bodenbeschaffenheit verbessernde, bodenaufschliessende, nährstoffaufspeichernde Gewächse resultierte aus diesem Verhalten, ein Umstand, der mir auch bis heute trotz des Vorbildes eines Schultz-Lupitz und trotz einer reichhaltigen diesbezüglichen Literatur von seiten der Praxis noch nicht genügend gewürdigt zu werden scheint.

Jedoch muss man sich auch vor einer allzu optimistischen Beurteilung dieser Dinge hüten, und die bisweilen ausgesprochene Ansicht, dass alle mit einer Pfahlwurzel versehenen Pflanzenarten ein grosses Bewurzelungsvermögen besitzen, entspricht keineswegs der Wahrheit. Denn wie wir schon genugsam betonten, hat jede Art und Unterart ihren eigenen Wurzeltypus, und nahe verwandte Arten können sich, was Ausbreitung und Tiefgang der Wurzeln anlangt, ganz verschieden verhalten. Kurz, der Begriff Pfahlwurzler ist nicht ohne weiteres mit dem des Tiefwurzlers zu identifizieren, und ebensowenig sind die Faserwurzler, obgleich sie mehr wie viele andere Pflanzenarten die Tendenz besitzen, ihr Wurzelsystem in den oberen, von der Kultur gelockerten Bodenschichten auszubreiten, schlechthin als flachwurzelnde Gewächse zu bezeichnen. Zum Belege hierfür seien folgende Daten aus der Literatur angeführt. Schon vor etwa 4 Jahrzehnten stellten Männer, wie H. Thiel,[4]) Nötger[5]) und Schubert-Gallentin[6]) die Tatsache fest, dass das Getreide mit seinen Wurzeln tiefer, als man allgemein glaubt, in den Boden einzudringen pflegt.

Nötger hält daher die Einführung von Tiefkultur auch beim Getreidebau für sehr angebracht.

[1]) Dost, Welchen Wert hat die Kenntnis etc. S. 69 und Jahrbuch der D. L.-G. 1891, S. 71.

[2]) Bericht von Schultz-Lupitz; Jahrbuch der D. L.-G. 1891, S. 71 ff.

[3]) Fühling 1872, S. 113.

[4]) H. Thiel, Bewurzelung, 1865.

[5]) Fühling 1867, S. 248.

[6]) Jahrb. der D. L.-G., Bericht v. Werner S. 71 ff.

In späteren Jahren untersuchte man diese Verhältnisse vielfach von neuem und fast regelmässig kam man zu gleichem Resultat.

Das Orthsche Wurzelherbarium zeigt,[1]) dass auf dem allerdings leichteren Boden des Berliner Versuchsfeldes die Getreidearten sämtlich mehr als metertief im Boden wurzeln; nach Hellriegel, von Seelhorst, Schultz-Lupitz u. a. finden sich Getreidewurzeln noch bei 115, 135, 140 cm. Kraus gibt als äusserste Grenze sogar 220 cm an. Vergleichsweise endigen nach Orth:[2])

Rotkleewurzeln	bei	145	cm	Tiefe.
Weisskleewurzeln	„	83	„	„
Serradellawurzeln	„	84	„	„
Esparsettewurzeln	„	170	„	„
Luzernewurzeln	„	265	„	„
Wickenwurzeln	„	90	„	„
Erbsenwurzeln	„	80	„	„
Winterrapswurzeln	„	165	„	„

Wie man sieht, stehen die Zerealien einigen dieser Pfahlwurzler nur wenig bezüglich des Wurzeltiefgangs nach, andere, wie z. B. Weissklee und Serradella, übertreffen sie.

Ob aber der Wurzeltiefgang der Zerealien, wie vielfach behauptet wird, nur eine sekundäre Erscheinung, eine Folge anderweitiger Faktoren sei und ob der Pflanze ein grosser praktischer Nutzen daraus erwächst, das sei einer späteren Erörterung zu prüfen vorbehalten.

Zunächst seien noch einige Bemerkungen über die Bewurzelung der Zerealien an sich, ohne Berücksichtigung der abnorme Gestaltsveränderungen herbeiführenden Einflüsse gestattet.

Prinzipielle Unterschiede in der Bewurzelung der verschiedenen Gattungen sind infolge der Schwierigkeiten, diese Dinge zu untersuchen, bisher nur bei ganz jungen Pflanzen und für leicht erkennbare Verhältnisse festgelegt worden. So unterscheidet Nowacki Getreidearten mit mehreren Würzelchen am Keimling,[3]) wozu unsere 4 Hauptgetreidearten gehören, und solche mit einem Würzelchen am Keimling, z. B. Mais oder Hirse. Innerhalb der 1. Gruppe treten auch wieder Unterschiede ein, der Roggen nämlich hat 4—5, die Gerste 5—8, Weizen und Hafer gewöhnlich je 3 Keimwurzeln. Ferner weiss man, dass der Mais mehr als alle ähnlichen Pflanzen befähigt ist, auch aus den oberirdischen Halmknoten Adventivwurzeln in grosser Zahl zu entsenden, welche, nach Art der Luftwurzeln zur Mangroveflora gehöriger Pflanzen dem Boden zuwachsend, die beträchtliche Höhe erreichende Pflanze nicht nur ernähren, sondern vor allem auch stützen und versteifen helfen. Auch der Hafer bildet fast regelmässig aus dem 1. oberirdischen Knoten Adventivwurzeln und übertrifft in dieser Fähigkeit Gerste, Roggen und Weizen.

[1]) Dost, Welchen Wert hat etc. S. 61 ff.
[2]) Dost, Welchen Wert hat etc., Berlin 1898.
[3]) Nowacki, Getreidebau S. 23.

Zahlreich sind die Feststellungen, welche man im freien Lande und in Gefässen über den Wurzeltiefgang (s. oben), sowie über das Bewurzelungsvermögen der Getreidearten im Vergleiche miteinander und im Vergleich mit anderen Pflanzenarten und über die periodische Entwickelung des Wurzelsystems und das Verhältnis seines Gewichts zu dem der oberirdischen Teile in verschiedenen Entwickelungsstadien machte.

So konstatieren Hellriegel,[1]) Haberlandt,[2]) Garola[3]) und Nowacki[4]) übereinstimmend, dass im jugendlichen Stadium der Pflanze das Wachstum der Wurzel der Entwickelung der oberirdischen Organe vorauseilt, während zugleich in der Entwickelung der letzteren ein Stillstand einzutreten scheint. Im späteren Stadien aber verwendet die Pflanze die bei weitem grösste Arbeit auf die Ausbildung der oberirdischen Masse. Dieselbe Erscheinung beobachtete, wie wir oben bemerkten, Fruwirth auch bei den Leguminosen.

Über die spezifischen Unterschiede im Wurzelvermögen der verschiedenen Getreidearten lauten die Urteile der massgebenden Autoren nicht ganz gleichartig. Hellriegel,[5]) Nowacki,[6]) Heinrich[7]) u. a. bestätigen das stärkere Bewurzelungsvermögen des Hafers der Gerste gegenüber, der ja nach Nowacki auch längere Wurzelhaare besitzt als Gerste. Haberlandt[8]) bezeichnet die Wurzeln des Roggens und der Gerste als tätiger als die des Weizens; von Seelhorst[9]) schreibt dem Roggen das bei weitem stärkste Bewurzelungsvermögen zu, es folgt Sommerweizen, dann Winterweizen, zuletzt Gerste. Über den Hafer gibt er kein Urteil ab.

Überaus mühsame Zählungen und Messungen nahm Nobbe[10]) vor. Bei im Ackerboden gewachsenen jungen Roggenpflanzen zählte er 16005 Wurzelfasern 1. bis 4. Ordnung, bei Weizen 10737. In späteren Stadien hatte die einzelne Pflanze 67000 Fasern von zusammen 520 m Länge. Zu ganz andern Zahlen gelangte Hellriegel,[11]) allerdings nicht durch direkte Messungen, sondern er berechnete auf Grund des Verhältnisses, welches eine Probe zwischen Länge und organischer Trockensubstanz geliefert hatte, die Länge des ganzes Wurzelsystems, und es ergab sich: bei der Gerste im Gartenboden 40 m Gesamtwurzellänge, im Feldboden 25 m, bei dem Hafer 38—50 m.

In merkwürdiger Übereinstimmung hiermit rechnete Fittbogen[12]) für Hafer gleichfalls eine Gesamtwurzellänge von 38—50 m heraus.

[1]) Naturwissenschaftliche Grundlagen S. 118 ff.
[2]) Biedermann, Zentralblatt Bd. 9, S. 93.
[3]) Ebenda Bd. 21, S. 117.
[4]) Nowacki, Getreidebau.
[5]) Hellriegel, Grundlagen, S. 118 ff.
[6]) Nowacki, Getreidebau.
[7]) Biedermann, Zentralblatt 1876, Bd. 10, S. 182.
[8]) Ebenda Bd. 9, S. 93.
[9]) Journal für Landwirtschaft 1902.
[10]) Versuchs-Stationen Bd. 11, S. 106.
[11]) Grundlagen S. 175.
[12]) Versuchs-Stationen Bd. 6, S. 474.

Ein einheitliches, zu tauglichen Vergleichszahlen führendes Wertmafs für das Bewurzelungsvermögen verschiedener Pflanzenarten zu finden, hat gewisse Schwierigkeiten, schon deshalb, weil es unmöglich ist, aus dem freien Lande quantitativ die ganze Wurzelmasse mehrerer oder gar einer Pflanze, deren Wurzelwerk mit dem der Nachbarpflanzen im Boden netzartig verwächst, zu gewinnen, und weil bei Kulturen in Gefässen die Wachstumsbedingungen immer andere sind als im freien Lande. Sodann genügen auch Wurzelzählungen, Messungen und Wägungen, sowie Beobachtungen über Tiefgang und seitliche Ausdehnung noch nicht zur Bewertung der Wurzelkraft einer Pflanze, sondern zur Beurteilung ihrer bodenlösenden Kraft hat man noch ihre Fähigkeit reichlicher oder spärlicher Wurzelhaarbildung, die diosmotischen Kräfte und das Vermögen der sauren Wurzelausscheidung zu prüfen, Momente, die in ihrer Gesamtheit schwer zu berücksichtigen sind. Grosse Massenentwickelung z. B. ist nicht immer mit reichlicher Säureausscheidung verbunden, und wir müssen Hosäus[1]) scheinbar zustimmen, wenn er das Wurzelvermögen einer Pflanze von ihrer Bewurzelungsfähigkeit getrennt wissen will und den Pflanzen, welche bei sehr geringer Wurzelmasse viel oberirdische Substanz bilden, ein grosses Wurzelvermögen, dagegen denjenigen, wo das Umgekehrte eintritt, welche also hohes relatives Wurzelgewicht besitzen, geringes Wurzelvermögen zuerkennt. Lein z. B. besitzt nach Hosäus mit einem Gewichtsverhältnis von 3 : 1 zwischen Spross- und Wurzelmasse ein geringes, Kartoffel mit einer analogen Verhältniszahl von 41 : 1 ein sehr grosses Wurzelvermögen.

Diese Beispiele scheinen wohl geeignet zu sein, obige feine Unterscheidungsweise zu rechtfertigen; eine kurze Überlegung jedoch überzeugt uns davon, dass dieselbe nicht allgemein anwendbar ist, man müsste dann z. B. der Luzerne und Lupine, Pflanzen, welche wegen ihres starken Aufschliessungsvermögens einen Ruf besitzen, weil sie zugleich auch über sehr starke Bewurzelung verfügen und ihr relatives Wurzelgewicht ein sehr hohes ist, wohl grosse Wurzelbefähigung, aber sehr geringes Wurzelvermögen zuerkennen; den Runkelrüben dagegen mit ihren wenigen feinen und kurzen Saugfäserchen — die nährstoffaufspeichernde Pfahlwurzel kommt selbstverständlich bei der Nahrungsaufnahme gar nicht in Betracht, — ein sehr hohes. Das Unhaltbare, Ursache und Wirkung miteinander Verwirrende jener Unterscheidungsweise liegt also auf der Hand. Die Tätigkeit der Wurzeln anspruchsvoller Pflanzenarten ist zweifellos viel weniger intensiv als die bescheidener, noch unter ärmeren Ernährungsverhältnissen gedeihender, und jene können unter Umständen nur deshalb mit recht wenig Wurzelmasse auskommen, weil sie, wie z. B. die Zuckerrübe, alle Nährstoffe fast im Übermafs vorgesetzt erhalten, während die anderen auf mühsames Suchen danach angewiesen sind.

Auch spielt ja die Länge der Vegetationsdauer bei diesen Dingen eine hervorragende Rolle.

Pflanzen mit längerer Vegetationsdauer, wie z. B. die Kartoffel, können sehr wohl mit einer geringeren Wurzelmasse auskommen als solche, welchen,

[1]) Fühling 1872, S. 29.

wie dem Lein, eine kürzere Lebenszeit beschieden ist. Hier muss die Produktionsarbeit auf eine weit kürzere Periode zusammengedrängt werden, dort aber braucht sich die Pflanze mit ihrer Arbeit nicht zu beeilen.

Endlich kann nach den Untersuchungen von Liebscher[1]) und seiner Schüler[2]) kein Zweifel mehr darüber herrschen, dass das Düngerbedürfnis einer Pflanze nicht nur von dem Verhältnis zwischen dem Stoffgehalt des Bodens und der auf ihm gewachsenen Pflanzenmasse, nicht nur von der quantitativen Ausbildung des Wurzelsystems der betr. Pflanze und dem spezifischen Aufschliessungsvermögen ihrer Wurzel, sowie von ihrer kürzeren oder längeren Vegetationszeit abhängig ist, sondern auch zum nicht geringsten Teil durch den periodischen Verlauf der Stoffaufnahme bestimmt wird. Gerade in dieser Hinsicht weichen unsere Kulturpflanzen ganz wesentlich voneinander ab, wie Liebscher, gestützt auf Untersuchungen einer grossen Zahl von Forschern, von denen hier nur E. Wolff, Stöckhardt, Arendt, Kreusler und König genannt sein mögen, überzeugend nachweist.

Bei unseren Hauptgetreidearten, namentlich bei Gerste, übertrifft danach in der 1. Hälfte der Vegetation, also in der Zeit bis zum Schossen, die Stoffaufnahme aus dem Boden die Produktion von organischer Substanz ganz erheblich. Bei der Rübe dagegen dauert die Stoffaufnahme sehr viel länger als beim Getreide, obgleich auch bei ihr in der Jugend ein gesteigertes Nährstoffbedürfnis vorhanden ist. Beim Rotklee findet fernerhin ein auffallender Parallelismus zwischen Produktion organischer Substanz und Aufnahme aller wichtigen Nährstoffe statt, während endlich die Kartoffel zwar mit der Stoffaufnahme gleichfalls eher beginnt als mit der Bildung organischer Substanz, aber auch länger damit fortfährt und in dieser Hinsicht also in direktem Gegensatz zum Getreide steht.

Da nun auch bezüglich der Aufnahme der einzelnen Nährstoffe in verschiedenen Entwickelungsstadien ganz beträchtliche Differenzen bestehen, und — um auch hierfür ein Beispiel anzuführen, — der Weizen nach Adorjan[3]) zur Zeit des Auflaufens von allen Stoffen am meisten Stickstoff, während des Schossens aber am meisten Phosphorsäure bedarf, so lässt sich nicht leugnen, dass die genaue Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der Nährstoffaufnahme unserer Kulturpflanzen mit eine Grundlage für unsere Düngungsmethoden bildet, und ein weiterer Ausbau der von Liebscher und seinen Mitarbeitern angebahnten Lehre im allgemeinen Interesse sehr zu wünschen ist.

Eine Abschweifung auf etwas ferner liegende Gebiete war an dieser Stelle nicht zu umgehen, denn die angestellten Betrachtungen haben uns

[1]) Journal für Landwirtschaft 1887, S. 335—500. G. Liebscher, Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerlehre.

[2]) Desgl. 1895, S. 285: „Über den Verlauf der Nährstoffaufnahme der Kartoffelpflanze bei verschiedener Düngung", von Hecke, und 1896, S. 30: „Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und Düngerbedürfnis des Roggens", von Renig.

[3]) Desgl. 1902, S. 193: „Die Nährstoffaufnahme des Weizens", von Adorjan. Die Ergebnisse, die dieser Verfasser bei seinen Untersuchungen erzielte, decken sich im allgemeinen völlig mit den Liebscherschen.

davon überzeugt, dass wir auf die schiefe Ebene kommen, wollten wir mit Hosäus ganz verschiedenartige Pflanzen nach der quantitativen Ausbildung ihres Wurzelsystems miteinander vergleichen, und dass die kritiklose Anwendung des Begriffs Wurzelvermögen uns in arge Widersprüche verwickelt.

Unter Vermeidung dieses zweideutigen Ausdrucks werde ich daher zunächst nur von dem Bewurzelungsvermögen dieser oder jener Pflanze sprechen, womit eben nur die Massenentwickelung und das Gewicht der Wurzel bezeichnet werden soll und kann.

Gestützt auf die oben mitgeteilten Untersuchungen bewährter Forscher können wir nunmehr mit aller Bestimmtheit sagen, dass Roggen und Hafer stärkeres Bewurzelungsvermögen besitzen, als Weizen und Gerste. Bei dem hohen Standpunkte, auf welchem die moderne Pflanzenzüchtung heute steht, liegt jedoch die Annahme sehr nahe, dass nicht bloss zwischen den Gattungen und Arten, sondern auch innerhalb des noch engeren Verwandtschaftskreises, also zwischen den Rassen oder Sorten Unterschiede im Bewurzelungsvermögen bestehen. Die Tatsache, dass verschiedene Sorten einer Art bezüglich ihrer Ansprüche an Boden und Düngung ausserordentlich variieren, bestätigt jedenfalls die Richtigkeit jener Ansicht. Auch bietet uns die Literatur einige Anhaltspunkte hierfür. So fand Hosäus[1]) bemerkbare Differenzen in den Wurzelgewichten einiger Hafersorten, und E. v. Proskowetz[2]) konstatierte Unterschiede im Wurzelgewicht, der durchschnittlichen Dicke der Wurzeln, sowie im Wasser- und im Aschengehalt bei drei Gerstesorten. Jedenfalls sind aber die vorliegenden Ergebnisse noch ziemlich unzureichend, und auf ähnliches bezugnehmenden Untersuchungen dürfte ein gewisser Wert nicht abzusprechen sein.

Die die Wurzelentwickelung beeinflussenden Faktoren.

Während ich mich im Vorausgehenden nachzuweisen bemüht habe, dass nicht nur innerhalb der grösseren Pflanzengruppen, Familien und Gattungen, sondern auch innerhalb des Rahmens der sogenannten Arten prinzipielle, man könnte sagen individuelle Unterschiede bezüglich der Wurzelentwickelung auftreten, so ist es den kommenden Seiten vorbehalten, zu zeigen, dass die Pflanzenwurzel unter dem Einfluss mannigfacher Faktoren ausserordentlich umbildungsfähig ist, und unter Umständen ihre äussere Gestalt so verändern kann, dass der Artencharakter völlig verschwindet. Diese Akkomodationsfähigkeit der Wurzel, eines meist zarten pflanzlichen Organs, welches sich seinen Weg in dem festen, vorwiegend aus anorganischer Materie bestehenden Erdboden suchen muss, ist neben ihrer Regenerationsfähigkeit eine unbedingte Voraussetzung für die gedeihliche Entwickelung der Pflanze.

Nach Schultz-Lupitz sind es mechanische, beziehungweise physikalische und chemische Einflüsse,[3]) welche bald fördernd, bald hemmend,

[1]) Fühling 1872, S. 29.

[2]) von Proskowetz, Jahresbericht a. d. Gesamtgebiete der Agrikulturchemie 1894, S. 263.

[3]) Jahrbuch der D. L.-G. Bd. 6, S. 78 ff.

immer aber umbildend auf das Wachstum der Wurzel einwirken. Ich will versuchen, nach diesem Einteilungsprinzip ohne eine scharfe Scheidung der ja im allgemeinen miteinander identischen physikalischen und mechanischen die beeinflussenden Momente zu erörtern.

Physikalische Einflüsse.

Einflüsse physikalischer Natur sind die Reizerscheinungen.

Der positive Geotropismus, bereits 1809 von Knigth beobachtet und als Folge der Erdschwere erkannt, und der in der Regel negative Heliotropismus der Wurzel bedingen ihre normale Wachstumsrichtung senkrecht bezw., was die Nebenwurzeln anlangt, die nach Sachs im allgemeinen denselben Gesetzmässigkeiten unterliegen, schräg zum Erddurchmesser.

Von ihrer regulären Wachstumsrichtung wird die Wurzel durch eine Reihe später erkannter Reize abgelenkt, deren Wirkung man, je nachdem sie von einseitigem Feuchtigkeits- oder einseitigem Gasgehalt, von unregelmässiger Wärmeverteilung etc. herkommen, Hydrotropismus,[1]) Aero-,[2]) Thermo-[3]) Rheotropismus bezw. Exotropie,[4]) eine Bezeichnung für die Eigentümlichkeit einer zu spiraligem Wachstum gezwungenen Wurzel, nur an ihrer Aussenseite Nebenwurzeln zu bilden, nannte.

Weil eine genauere Betrachtung dieser für den Botaniker ja recht interessanten, für den Landwirt aber weniger wichtigen Erscheinungen uns zu weit führen würde, begnüge ich mich mit einem Hinweis darauf, ohne des Näheren darauf einzugehen.

Überhaupt wird es angebracht sein, allgemeine Betrachtungen, die sich bei einer Charakteristik der Pflanzenwurzel sehr leicht einschleichen, zu vermeiden und die einzelnen Wachstumsfaktoren nur insoweit zu berücksichtigen, als sie auf die Wurzelentwickelung direkt einen Einfluss ausüben.

Dass die oben nur in ihrer Bedeutung als Reize berührten Momente Licht, Feuchtigkeit und Wärme unentbehrliche Lebensbedingungen für die Pflanze sind, weiss jeder Landwirt, und daher ist er nach Kräften bemüht, durch mannigfache Kulturmassregeln denjenigen Grad der beiden letztgenannten Zustände im Ackerboden herbeizuführen, der dem Optimum für das Wachstum der Kulturpflanzen entspricht. Das Licht berührt bekanntlich die Wurzel nur wenig, denn sie wächst ja im dunklen Schoss der Erde.

Bei einer allseitigen Belichtung treten denn auch Abnormitäten ein. Die Pfahlwurzel streckt sich unnatürlich in die Länge und die Nebenwurzelbildung tritt zurück.[5])

Wärme und Feuchtigkeit aber beeinflussen die Wurzelentwickelung direkt; von beiden weiss man, dass sie, bis zu einem gewissen Grade erhöht, das Wurzelwachstum anzuregen und die Wurzelkraft zu steigern

[1]) J. Sachs, Arbeiten der bot. Inst. zu Würzburg Heft 2.
[2]) Wollny, Forschungen Bd. 8, S. 131. (Molisch.)
[3]) Biedermann, Zentralblatt Bd. 14, S. 402, und Wollny, Forschungen Bd. 7, S. 405.
[4]) Ebenda Bd. 18, S. 389.
[5]) Versuchs-Stationen Bd. 15, S. 107—113, desgl. Bd. 10, S. 71. (Nobbe.)

geeignet sind,[1]) und zwar kann trotz aller Unterschiede der verschiedenen Pflanzenarten bezüglich des Wärme- und Feuchtigkeitsbedürfnisses die Temperatur von 25° und ein Wassergehalt von 60% der wasserfassenden Kraft des Bodens ungefähr als das Optimum für beide Zustände angegeben werden.

Die Tatsache aber, dass die Pflanze nur im Wasser bezw. Nährlösungen kultiviert auch wachsen und gedeihen kann, erkannte man schon vor einer langen Reihe von Jahren zum Heil der Pflanzenernährungslehre und ihr verdankt man die Erkenntnis mancher vorher kaum geahnten Wahrheit auf diesem Gebiete.

Freilich war bei Wasserkulturen von Landpflanzen abnorme Wurzelausbildung sehr wahrscheinlich; wir wollen daher sehen, was uns die Literatur über die Beeinflussung der Wurzelausbildung durch das umgebende Medium zu sagen weiss.

Bei diesbezüglichen Untersuchungen Nobbes zunächst ergab die Wurzelausbildung der in wässerigen Lösungen gezogenen Zerealien keine gestaltlichen Abweichungen von den in fruchtbarem festen Boden erzogenen.[2]) Aber eine grosse Anzahl anderer Stimmen bezeugen beträchtliche Unterschiede der Wurzelentwickelung infolge der Beschaffenheit des Substrats. A. Mayer z. B. bekundet, gestützt auf Untersuchungen von W. Wolf und Knop,[3]) dass die Pflanze ihre Wurzeln in wässerigen Lösungen ganz anders ausbilde als im freien Lande. Von dem einen in den anderen Standort versetzte Pflanzen können nur weiter leben, wenn sie sofort neue Ersatzwurzeln für die alten, in dem neuen Medium unbrauchbar gewordenen zu produzieren befähigt sind.[4])

Wie selbst Nobbe an einer anderen Stelle in Übereinstimmung mit E. Mer und W. Detmer[5]) bestätigt, äussert sich die Abweichung von der gewöhnlichen Form oft durch grössere Längserstreckung und stärkere Ausbildung der Hauptwurzel und in schwächerer Wurzelhaarbildung in sehr verdünnten Lösungen; ähnliches beobachtete P. Wagner.[6]) In Böden dagegen, welche das Wasser stark zurückhalten, entwickeln sich nach Mer[7]) die Seitenwurzeln am meisten und die Wurzelhaare am stärksten und zahlreichsten.

Dieses Verhalten ist sehr erklärlich. In Böden mit starker Absorptionskraft entwickelt die Pflanze mehr Saugwurzeln und Haare,[8]) die Organe der Löslichmachung und Aufnahme der Nährstoffe, um dem Boden Wasser und Nährstoffe, welche zwar reichlich vorhanden, aber auch sehr fest gebunden sind, zu entziehen; in Nährlösungen dagegen wären besonders viele

[1]) A. Mayer, Lehrbuch für Agrikulturchemie, 1901, Bd. 1, S. 382.
[2]) Biedermann Bd. 2, S. 226.
[3]) Versuchs-Stationen 1863, S. 67; 1864, S. 203; 1865, S. 346.
[4]) A. Meyer, Lehrbuch für Agrikulturchemie, 1901, S. 266.
[5]) Versuchs-Stationen Bd. 15, S. 107—113.
[6]) Journal für Landwirtschaft Bd. 18, S. 103.
[7]) Jahresbericht über Fortschritte a. d. Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1882, S. 189.
[8]) Journal für Landwirtschaft Bd. 18, S. 103.

Nebenwurzeln zwecklos, weil funktionslos, und deshalb finden sich unter diesen Umständen nur verhältnismässig wenig Fasern und Haare an der Hauptwurzel.

Wenn nun andere Forscher, wie Wacker,[1]) J. Sachs, P. Wagner[2]) in Übereinstimmung mit Arker[3]) und von Bretfeld[4]) die starke Entwickelung der Hauptwurzel und überhaupt des ganzen Wurzelsystems in gut durchlüftetem und sauerstoffreichem Substrat rühmen, so liegt die einfache Erklärung hierfür darin, dass die Atmung der Wurzel dann eine viel lebhaftere und sie selbst somit viel aktiver, vielleicht auch, dass vermöge des Zutritts der Atmosphärilien die Oxydation und Löslichmachung der Nährstoffe, auch ohne Zutun der Pflanze selbst, eine viel regere und der ganze Zustand der Pflanze dadurch ein viel gesünderer und kräftigerer ist.

Weil für den Effekt des Feuchtigkeitsgrades besonders charakteristisch, sei hier noch auf eine Beobachtung von Tucker und von Seelhorst[5]) aufmerksam gemacht.

„Die Ausbildung der oberirdischen Pflanzensubstanz der Haferpflanze nahm mit steigendem Wassergehalt zu; bei den Wurzeln war das Umgekehrte der Fall. Bei einem geringen Wassergehalt des Bodens trat die relativ grösste Ausbildung der Wurzeln, die relativ geringste der oberirdischen Masse ein, und zwar gleichmässig an Korn und Stroh. Die zur Mehrausbildung der Wurzeln verwendete organische und Aschensubstanz wurde der oberirdischen Masse entzogen; die vergrösserte Wurzelmasse war aber doch nicht imstande, die zur reichlichen Entwickelung von Korn und Stroh nötigen Nährstoffe, vor allem das nötige Wasser zu liefern.“

Wir sehen also, die Abhängigkeit der Wurzelentwickelung von der Beschaffenheit des Substrats und speziell das Eintreten gewisser Gestaltsveränderungen der Wurzeln in Nährlösungen kultivierter Pflanzen ist erwiesen; doch kann dieser Umstand, wie man im Lauf der Jahre erkannt hat, der Brauchbarkeit der Wasserkultur, wenigstens was die meisten Kulturpflanzen anlangt, keinen grossen Abbruch tun.

Zur Förderung der Luftzirkulation im Boden, zur Überführung schwer löslicher Bodenverbindungen in leichter lösliche und nicht zum mindesten zur Begünstigung des Wurzelwachstums dient bekanntlich eine Kulturmethode, welche während der letzten Jahrzehnte ausserordentlich zur Erhöhung der Erträge beigetragen hat, ich meine die Tiefkultur.

Ein Wort von Schultz-Lupitz lautet:[6]) „Die Beschaffenheit des Wurzelsystems einer Pflanzenart ist bestimmend für die Tiefe der Pflugfurche“. Jedoch kann dieser Satz mutatis mutandis auch so ausgedrückt werden:

Die Tiefe der Pflugfurche ist bestimmend für die Entwickelung des Wurzelsystems.

[1]) Jahresbericht über Fortschritte a. d. Agrikulturchemie 1898, S. 205.
[2]) Journal für Landwirtschaft Bd. 18, S. 103.
[3]) Zentralblatt (Biedermann) 1902, S. 647.
[4]) Jahresbericht a. d. Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1882, S. 189.
[5]) Biedermann, Zentralblatt Bd. 28, S. 269.
[6]) Jahrbuch der D. L.-G. 1891, S. 71 ff.

Denn es ist das natürliche Bestreben der Pflanze, ihr Wurzelsystem in den gelockerten Bodenschichten zu entfalten, und wie günstig tiefere Bodenlockerung z. B. das Wachstum der Rübe beeinflusst, hat Kraus sehr schön gezeigt (s. oben): Mit der Tiefe der Bodenbearbeitung nahm die Länge der Saugwurzeln führenden Zone am Rübenkörper zu; ein rationeller Rübenbau ist also, wie auch allgemein bekannt, ohne Tiefkultur nicht denkbar.

Aber andererseits ist nach dem Zeugnis von Kraus[1]) und vieler anderer verdienstvoller Forscher eine gleichmässige Förderung der verschiedenen Arten von Gewächsen durch tiefere Bodenlockerung ausgeschlossen.

Längst erwiesen ist es z. B., dass die Zerealien die grossen Kosten der Tiefkultur nicht bezahlen, und mit besonderem Nachdruck empfiehlt der Altmeister Julius Kühn, schon wegen der Nematodengefahr, zu Getreide flach zu pflügen.

Kraus äussert sich hierüber folgendermassen: „Bei Büschelwurzlern ruft die Tiefkultur weniger eine reiche Faserwurzelbildung als eine Zunahme der Zahl der gerade oder schräg nach abwärts wachsenden Knotenwurzeln hervor. Deshalb und überhaupt wegen der Unabhängigkeit der Wurzelerzeugung von der Lockerungstiefe tritt die Folge der Tiefkultur bei Getreide weniger hervor.“

Wenn die Wurzeln desselben daher auch vielfach das Bestreben zu haben scheinen, tiefere Bodenschichten aufzusuchen, so handelt der Landwirt doch ganz richtig, wenn er sein Getreide auf mässig tief gelockerten Acker aussät.

Überhaupt wird ja der Tiefgang der Getreidewurzeln vielfach nur als eine Abnormität, als eine Folgeerscheinung anderweitiger Ursachen bezeichnet, worauf wir schon auf S. 9 hindeuteten. Prüfen wir, inwieweit diese Ansicht berechtigt ist.

Noch Fraas stellt im Jahre 1871 fest,[2]) dass normalerweise der Weizen sich nicht tiefer als bis zu 1 Fuss, in gutem Gartenboden allerhöchstens bis zu 2 Fuss bewurzle, und als erster war es H. Thiel, welcher Getreidewurzeln vielfach in alten Röhren, über deren Ursprung man sich wohl anfänglich noch nicht recht klar war, im Untergrunde des Ackers vorfand.[3]) Hensen stellte später die Herkunft dieser Röhren fest:[4]) Die Regenwürmer sind es, welche den Ackerboden in grosser Zahl bewohnen und sich 1—3 m tief einbohren. Die feinen Wurzelfasern folgen mit Vorliebe diesen alten Wurzelbahnen, wodurch sie gleichfalls in die Tiefe gelangen. Jedoch kommen sie daselbst nach Thiels Feststellungen höchstens für die Wasseraufnahme in Betracht, für die Aneignung von Nährsalzen entbehren sie jeder Bedeutung. Dies dürfte m. E. für alle Fälle kaum zutreffen, jedenfalls hängt die Nahrungsaufnahme aus dem Untergrunde sehr von der Bodenqualität daselbst ab.

---

[1]) Wollny, Forschungen Bd. 19, S. 80.

[2]) Fraas, Das Wurzelleben S. 13.

[3]) H. Thiel, Bewurzelung, Dissertation, 1865 u. a. O.

[4]) Jahrbuch der D. L.-G. 1892, S. 84, und Landw. Jahrbücher Bd. 11, S. 664.

Was nun die Tätigkeit der Regenwürmer anlangt, so ist in der Tat durch die überaus feinen Beobachtungen Ch. Darwins[1]) erwiesen und von Wollny u. a. bestätigt, dass dieselben durch ihre Minierarbeit die Erde stark durchlüften und, indem sie abgestorbene organische Reste und enorme Erdmassen fressen und diese nach Passierung ihres Darmkanals als humusartige Substanz wieder von sich geben, ganz beträchtlich nicht nur die physikalische Bodenbeschaffenheit verbessern, sondern auch zur Erhöhung des Nährstoffreichtums beitragen. Gleichwohl kann diesen Tieren nicht eine so allgemeine Bedeutung für die Bildung der Ackererde beigemessen werden, wie man nach Darwin zu tun geneigt wäre; es wird sogar bezweifelt, dass sie die Tiefenerstreckung der Getreidewurzeln erheblich fördern könnten.

So führt z. B. J. Kühn an,[2]) dass sich Getreidewurzeln auch selbständig den Weg in grosse Tiefen zu ebnen vermöchten.

Hellriegel[3]) bringt Wurmröhren und Wurzelwachstum in gar keine Beziehungen zueinander, und von Seelhorst, welcher sein Augenmerk besonders auf diese Dinge richtete, legt den Wurmröhren gleichfalls keine grosse Bedeutung für das Wurzelwachstum bei.[4]) Auf ganz ähnliche Meinungsäusserungen von Kraus[5]) und Enkhausen[6]) hinzuweisen, möchte ich nicht unterlassen.

Wenn daher auch die Thielschen und Hensenschen Beobachtungen ebensowenig in ihrem Wert geschmälert werden sollen, wie an der zuerst von Schultz-Lupitz beobachteten Tatsache, dass Getreidewurzeln bisweilen in den alten Wurzelbahnen ihrer Vorfrüchte, der Leguminosen, in die Tiefe wachsen, gezweifelt werden kann, so wird man doch wohl den Zerealien die Fähigkeit, sich selbständig den Weg in den Untergrund zu bahnen, nicht ganz absprechen dürfen.

Bekanntlich gibt es ebenso wie für die Temperatur, die Feuchtigkeit und die Durchlüftung des Substrats auch für alle anderen, durch jene zum Teil bedingten Wachstumsfaktoren ein Optimum, wie z. B. für die Aussaattiefe. Dieses Optimum schliesst auch wiederum den günstigen Grad der Wurzelentwickelung in sich ein.

Von besonderem Wert für die Wurzelentwickelung ist aber die Grösse des jeder Pflanze zur Verfügung stehenden Raumes, bezw. die Dichte der Aussaat.

Die Pflanze, als Individuum betrachtet, ist zu einer um so höheren Produktion befähigt, je grösser der Raum ist, über den sie verfügt. Denn dann braucht sie die Konkurrenz ihresgleichen nicht zu fürchten, und alle zur Maximalproduktion erforderlichen Bedingungen sind in günstigster Weise gegeben. Da aber dem Landwirt natürlich an möglichst hohen Er-

[1]) Darwin, Die Bildung der Ackererde.
[2]) Beobachtungen aus dem physiologischen Laboratorium, 1894, S. 160 ff.
[3]) Grundlagen S. 118 ff.
[4]) Journal 1902, Heft 1, S. 91.
[5]) Wollny, Forschungen Bd. 17, S. 84.
[6]) Journal Bd. 30, S. 371.

trägen von der Flächeneinheit gelegen sein muss, und da diese nicht mit dem grössten Ertrage der Pflanze an sich zusammenfallen, so fällt auch das Optimum der Standweite nicht mit dem Maximum zusammen, sondern liegt bei einer weit dichteren Aussaat. Selbstverständlich ist die vorteilhafteste Standweite für jede Pflanzenart und für jede Örtlichkeit eine andere, und es muss jedem Landwirt anheimgestellt bleiben, dieses Optimum der Standweite für seine Verhältnisse herauszufinden.

Über die Ursachen des Zusammenhanges zwischen Bodenraum und Pflanzenwachstum bietet uns die Literatur manches Interessante.

Hellriegel konstatierte auf Grund seiner eingehenden Untersuchungen[1]) über diesen Gegenstand zwar einerseits die ausserordentliche Akkomodationsfähigkeit der Pflanzenwurzel an kleine, sowohl schmale als niedrige Räume, andererseits aber kam er zu dem Schluss, dass der zur Verfügung stehende Bodenraum von ausschlaggebender Bedeutung für das Wurzelwachstum sei, und dass die Produktion von Pflanzensubstanz unter Umständen in direktem Verhältnis zur Grösse des verfügbaren Raumes stehe.

Dem gegenüber konnten Kraus, Wollny und Haberlandt eine direkte Proportionalität zwischen Bodenraum und Produktion nicht bestätigen, vielmehr stieg die Produktion in geringerem Grade, als der Bodenraum zunahm.[2])

Die Ursache für diese Erscheinung liegt nach Hellriegel in dem zu geringen Bodenvolumen an sich.[3]) A. Mayer aber greift diese Meinung an;[4]) er erblickt nicht in dem zu knappen Raum, sondern in dem zu geringen Nährstoffgehalt in kleinen Gefässen den Grund für den geringen Ertrag.

Diese Ansicht, wie es scheint, von Wollny in der Hauptsache geteilt,[5]) von Hellriegel aber bereits widerlegt,[6]) wird auch von Kraus nicht vertreten,[7]) sondern dieser betont gleichfalls, dass infolge der Korrelation der ober- und unterirdischen Organe der Raum an sich, unabhängig von der Ernährung, das gute Gedeihen der Pflanze bedinge. Kräftige oberirdische Entwickelung setzt eben das Vorhandensein einer Anzahl kräftiger Triebwurzeln im Gegensatz zu den Faserwurzeln voraus, und ohne solche kann trotz bester Ernährung und trotz reichlicher Faserwurzeln die vegetative Entwickelung beschränkte Grenzen nicht überschreiten.

Da diese Ansicht in neuer Zeit durch Lemmermann[8]) als vollkommen richtig bestätigt worden ist, so werden wir ihr unsere Zustimmung keinesfalls versagen können.

So die Beziehungen zwischen Bodenvolumen und Wurzelwachstum.

Mit der Regulierung des Standraumes hat der Landwirt aber auch ein Mittel an der Hand, die Entfaltung der oberirdischen Organe, nament-

[1]) Grundlagen S. 118 ff.
[2]) Wollny, Forschungen Bd. 17, S. 55—80.
[3]) Ebenda.
[4]) Ebenda.
[5]) Ebenda.
[6]) Grundlagen S. 118 ff.
[7]) Wollny, Forschungen Bd. 17, S. 55—80.
[8]) Journal 1903, S. 1.

lich die Bestockung des Getreides, soweit diese auf äusserlichen Ursachen beruht, bis zu einem gewissen Grade in fast willkürlicher Weise zu beeinflussen.

Es dürfte daher angebracht sein, an dieser Stelle mit einigen Worten auf den Bestockungsprozess einzugehen.

Die Bestockung des Getreides ist morphologisch weiter nichts als die normale Verzweigung des primären Sprosses. Sie geht vom sogenannten Bestockungsknoten aus, welcher gleichfalls Adventivwurzeln in grosser Zahl produziert, indem von da aus den Achseln der wechselständigen Blätter neue Sprosse entstehen, deren jeder aus seinem ersten Knoten wieder zwei neue Seitenzweige entwickeln kann. Jeder derselben verzweigt sich unter Umständen von neuem usf., so dass theoretisch das Bestockungsvermögen der Gräser ein fast unbegrenztes ist.

Freilich zeigen sich auch hier wieder beträchtliche Unterschiede. Diejenigen Arten, welche, wie unser Getreide, die grösste Arbeit auf die Produktion von Samen verwenden, besitzen jene Fähigkeit in bei weitem nicht so hohen Mafse als andere, welche sich hauptsächlich oder fast ausschliesslich auf vegetativem Wege fortpflanzen, wie viele unserer Wiesengräser. Winterung bestockt sich ferner allgemein stärker als Sommerung, Gerste mehr als Hafer, auch eine Sorte mehr als die andere.

Wohl kaum tritt bei einer anderen Pflanzenfamilie die Korrelation zwischen Spross- und Wurzelwachstum so in den Vordergrund, wie bei den Gramineen. Jeder Spross entfaltet nämlich eine grosse Bewurzelungsenergie, indem er aus seinem ersten Halmknoten durch Adventivbildung sein eigenes Wurzelsystem entwickelt und sich so eine gewisse Unabhängigkeit von der Ernährung sichert.[1])

Treffend äussert sich Schuhmacher über diese Verhältnisse folgendermassen:[2])

„Die Ausbildung der betreffenden Sprosse wird erst eine kräftige, wenn sie selbst Wurzeln in den Boden gesandt haben und durch diese mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden. Die unbewurzelten Sprosse gelangen nie zur Ährenbildung. Jeder Spross scheint so mit seinen Wurzeln ein besonderes Individuum der Gesamtpflanze zu bilden, welches nur noch in untergeordneter Weise mit der übrigen Pflanze in bezug auf Stoffwanderung in Beziehung steht."

Der Umfang der Bestockung ist natürlich, wie alle Wachstumsvorgänge, abgesehen von der individuellen Anlage, von mannigfachen Faktoren bis zu einem gewissen Grade abhängig; er ist z. B., soweit es der Gattungscharakter gestattet, bis zu einer gewissen Grenze um so grösser, je früher und flacher die Aussaat des möglichst vollkommenen Saatgutes erfolgt.[3]) Kein Vegetationsfaktor aber hat darauf einen so grossen Einfluss, als die

[1]) Nowacki, Getreidebau, 1899, S. 58, und Wollny, Saat und Pflege, S. 566, desgl. Nobbe, Versuchs-Stationen Bd. 15, S. 391.

[2]) Fühling 1868, S. 201.

[3]) Zentralblatt für Agrikulturchemie 1875, S. 191: Eckert, Über Bestockung und Bewurzelung.

Aussaatdichte, wie wir oben schon andeuteten und wie namentlich Wollny exakt nachgewiesen hat,[1]) und zwar aus dem Grunde, weil mit dem Standraum eine ganze Reihe anderer wichtiger Wachstumsbedingungen, wie die Belichtung, die Feuchtigkeit, die Wärme und die Nährstoffmenge in analoger Weise zunehmen und mit der reichlicheren Blatt- und Wurzelbildung intensivere Kohlenstoffassimilation und gesteigerte Aufnahme aller andern Nährstoffe Hand in Hand gehen. Als Folge dieser stärkeren Produktion ist die bei grösseren Standräumen nicht unbeträchtliche Verlängerung der Vegetationsdauer, also eine ziemlich bedeutende Verzögerung des Schossens, der Blüte und der Reife anzusehen (nach Wollny und Haberlandt).[2])

Quantität und Qualität der Erträge scheinen allerdings nach von Liebenberg nur unbedeutend beeinflusst zu werden. Bei den dreijährigen Versuchen, welche dieser Forscher in den Jahren 1889—1891 mit Gerste und Hafer vornahm,[3]) zeigte sich, dass die Erträge an Körnern bei 4 cm Reihenentfernung eher höher waren als bei 6 und 8 cm, während die Stroherträge so gut wie gar nicht beeinflusst wurden. Die Qualität der Körner war bei den grösseren Entfernungen nur im 1. Jahre ein wenig besser als bei den Pflanzen mit engem Stand.

Das einzelne Pflanzenindividuum dagegen ist nach der Beweisführung desselben Autors ganz erheblich in seiner Ausbildung von der Grösse der ihm zur Verfügung gestellten Fläche abhängig, und „es ergeben sich ganz bestimmte Beziehungen zwischen dem weiteren Standraum und der damit zusammenhängenden stärkeren Bestockung der Pflanze einerseits und den Verhältnissen der einzelnen Pflanzenteile andererseits".

Die bezüglichen, in der Hauptsache mit Weizen, in 2. Linie auch mit Gerste ausgeführten Versuche sind deshalb in ihren Resultaten um so wertvoller und so gut wie unanfechtbar, weil sie sich wiederum auf eine Reihe von Jahren erstrecken und immer zu gleichen Ergebnissen führten, welche sich kurz mit den Worten zusammenfassen lassen:

„Mit grösserem Standraum ergab sich grösseres Halmgewicht, längere, schwerere, lockerere Ähren mit einer grösseren Anzahl fruchtbarer Ährchen, mehr Körner, mehr Spelzen an ihnen, aber nur mässig schwerere Körner und in der Regel geringere Strohlänge."

Wir verstehen es daher sehr wohl, wenn Verfasser an einer anderen Stelle sagt: „Der Einfluss des veränderten Standraumes auf die Pflanze scheint ein viel energischerer und eingreifenderer zu sein, als die Wirkung von Düngung, Feuchtigkeit, Saatgutqualität."

Ob aber die durch Erweiterung des Standraumes herbeigeführten neuen Eigenschaften der Pflanze vererbungsfähig und deshalb für den Getreidezüchter besonders beachtenswert sind, muss vorderhand noch als

---

[1]) Wollny, Saat und Pflege S. 463 ff. und Jahresbericht a. d. Gesamtgebiete der Agrikulturchemie 1881, S. 178.

[2]) Schindler, Pflanzenbau S. 200 ff.

[3]) Mitteilungen des Vereins zur Förderung des landwirtschaftlichen Versuchswesens in Österreich, IX. Heft 1889, S. 31 ff.; X. Heft 1890, S. 27 ff.; XI. Heft 1891, S. 9 ff.

zweifelhaft angesehen werden; von Liebenberg scheint bei zweijährigem Experimentieren hierüber kein besonders günstiges Resultat gewonnen zu haben.

Eine Reihe anderweitiger Untersuchungen über Bestockung, wie z. B. Arbeiten von Kossowitsch,[1]) Sissewitsch,[2]) Zollikofer,[3]) Hoffmann-Aderstedt[4]) u. a. bringen, liefern im allgemeinen nichts, was wir nicht in den bisherigen Ausführungen berührt hätten, so dass ich, um lästige Wiederholungen zu vermeiden, mich wohl mit einem Hinweis darauf begnügen kann, ohne auf Einzelheiten näher einzugehen.

Nur die neuesten literarischen Produkte über Bestockungsvorgänge sind noch einer Betrachtung zu unterziehen.

Der französische Forscher Schribaux kam auf Grund seiner Untersuchungen zu dem Schluss, dass die stärkere Bestockungsfähigkeit eine besondere Rasseneigentümlichkeit der weniger ertragreichen Landsorten sei; die hohen Erträge der Kultursorten seien nicht zum mindesten eine Folge ihrer — scheinbar durch unbewusste Zuchtwahl entstandenen — geringen Bestockungsfähigkeit.[5])

Für diese Ansicht scheint auch die seitens der Praktiker vielfach zu ihrem Leidwesen gemachte Erfahrung zu sprechen, dass die wegen ihrer Ertragsfähigkeit mit Recht so beliebten englischen Weizensorten bei weitem hinter den meisten unserer einheimischen, nicht so produktiven an Bestockungsvermögen zurückstehen.

Der 1. Halm nämlich, so begründet Schribaux seine Ansicht, übertrifft in allen wertbildenden Eigenschaften den 2., dieser den 3. usf.; je mehr Halme also eine Pflanze hat, um so mehr geringere Körner liefert sie.

Da diese neuen Gesichtspunkte von einschneidendster Bedeutung für die Richtung unserer Getreidezüchtung zu sein schienen, unterwarf der bewährteste deutsche Züchter, Amtsrat Rimpau, dieselben einer genauen Nachprüfung,[6]) und an der Hand sorgfältiger Beobachtungen bewies er, dass der Schribauxsche Satz durchaus nicht durchweg Anspruch auf Gültigkeit machen kann, vielmehr sind im allgemeinen die Kulturrassen in unserem allerdings klimatisch weit ungünstiger gelegenen Lande zu nicht geringerer Bestockung befähigt als die weniger ergiebigen Landrassen.

Die Überlegenheit des 1. Halmes über den 2. und des 2. über den 3. scheint zwar nach den Untersuchungen von Lippoldis[7]) vielfach zuzutreffen, jedoch ist der Vorschlag, auf schwache Bestockungsfähigkeit zu züchten, nicht zu befolgen; sondern Rimpau findet den zweifellos richtigen Ausweg darin, wohl gut bestockte, aber nur mit möglichst gleichmässigen Ähren und Halmen versehene Pflanzen zur Nachzucht zu verwenden.

[1]) Jahresbericht a. d. Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1894, S. 260.

[2]) Ebenda 1881, S. 187.

[3]) Fühling 1893, S. 743.

[4]) Zentralblatt für Agrikulturchemie 1902, S. 637.

[5]) Landw. Jahrbücher 1890, Bd. 39. S. 589: „Experimentelle Untersuchungen über die Bestockung des Getreides", übersetzt von Rimpau.

[6]) Landw. Jahrbücher 1903, Heft 2; 1900, S. 589.

[7]) W. Lippoldis, Welchen Wert hat die Bestockungsfähigkeit des Getreides? Inauguraldissertation. Jena 1903.

Chemische Einflüsse.

A. Vorausgehende Schilderung der physikalischen und mechanischen Einflüsse auf das Wurzelwachstum konnte schon nicht frei sein von Andeutungen der chemisch physiologischen Beziehungen zwischen der Wurzel und ihrem Substrat.

Nun erübrigt es noch, nach einer Würdigung der physiologischen Bedeutung der Wurzel für die Pflanze die auf das Wurzelwachstum einwirkenden Einflüsse chemischer Natur zu erörtern.

Neben der mechanischen Aufgabe, die Pflanze im Boden zu befestigen, hat die Wurzel bekanntlich noch jene bedeutungsvolle, die Pflanze mit Wasser und mineralischen Nährstoffen zu versorgen.

Dieses vermitteln in 1. Reihe die Wurzelhaare, ihrer Anatomie nach ausgestülpte Epidermiszellen, welche millionenweise auf der Wurzel entstehen und bei Getreide z. B. 3 mm lang werden können. In ewigem Werden und Vergehen begriffen, folgen sie in einer Entfernung von etwa 1—2 cm der ununterbrochen im Boden vordringenden Wurzelspitze jedes Fäserchens und suchen so immer neue, noch nahrungsreiche Stellen im Boden auf, während die älteren Wurzelteile sich an der Nahrungsaufnahme nicht mehr beteiligen und sich mit einer Korkschicht bedecken.

Grundlegende Entdeckungen über die Physiologie des Wurzelhaares haben wir J. Sachs zu verdanken, folgen wir daher zu unserer Orientierung seinen scharfsinnigen Beobachtungen.[1])

Die Nahrungsaufnahme ist ein grossartiger, während der ganzen Vegetationsperiode sich ununterbrochen vollziehender Diffusionsprozess. Wenn die Zufuhr der im Samenkorn aufgespeicherten Nährstoffe nach dem jungen Pflänzchen hin infolge der auf ihre Kosten vollzogenen Bildung des jungen Pflänzchens nachzulassen anfängt, lässt das junge Wurzelgewebe, vor allem das inzwischen entstandene Wurzelhärchen das im Boden befindliche Wasser und die in ihm gelösten Salze durch seine Membrane vermöge endosmotischer Kräfte in sein Inneres hineindiffundieren, von wo aus ein Transport des Nahrungssaftes in die benachbarten Zellen immer weiter nach obenhin stattfindet. Ebenso entziehen die dem Wurzelhaar anliegenden Bodenteilchen den nächstliegenden Feuchtigkeit, und auf diese Weise entsteht eine Strömung des Wassers und der in ihm gelösten Stoffe von der Wurzel aus nach aufwärts, im Boden in ganz ähnlicher Weise eine solche zentripetal nach jedem Wurzelhärchen hin. „Jedes Härchen wird daher zum Zentrum einer allseitig gegen dasselbe gerichteten, nicht bloss auf mikroskopische Distanzen sich erstreckenden, sondern auch entferntere Regionen in Bewegung setzenden Strömung des adhärierenden Wassers, und für die mit Tausenden von Haaren bedeckte Oberfläche eines kleinen Wurzelstückchens resultiert daraus eine ähnliche Bewegung, welche die Wasserteilchen des Bodens radial gegen die Achse der Wurzel von allen Seiten hinführt.“[2])

---

[1]) J. Sachs, Vorlesungen S. 306.

[2]) Ebenda S. 309.

Als die Ursache der Wurzelkraft bezeichnet A. Mayer treffend „die chemische Differenz zweier jenseits und diesseits der Membran liegenden Flüssigkeiten.“ [1])

So die Aufnahme der im Boden gelösten Stoffe. Über die Aufnahme der vom Boden absorbierten Stoffe, also namentlich der Phosphate, der Ammonium- und Kalisalze und über die dabei sich abspielenden Vorgänge herrscht noch in mancher Hinsicht Unklarheit. Jedoch weiss man, dass nur die Aufnahme gelöster Stoffe durch die Pflanze möglich ist, und die Überführung jener Salze in gelöstem Zustand schreibt man einer Säureausscheidung seitens der Wurzel zu.

Jedes aktionsfähige Härchen verbindet sich vermöge einer seine Zellulosemembran überziehenden schleimigen und stark quellbaren Substanz aufs innigste mit den anliegenden Bodenteilchen und entzieht ihnen mittels eines von ihm ausgehenden sauren Saftes die der Pflanze nötigen Stoffe. Dass dieser Prozess sich wirklich vollzieht oder zum mindesten sehr wahrscheinlich ist, wird auch durch das Verhalten von Pflanzenwurzeln manchen festen, kristallinischen Mineralien gegenüber gezeigt, von denen einige, wie Marmor- oder Dolomitplatten, von ihnen korrodiert werden, ein bekanntes Experiment, welches wiederum J. Sachs zuerst ausgeführt hat.

Die von jedem Härchen hierbei geleistete Arbeit ist freilich minimal, aber durch kombinierte Arbeitsleistung vieler Millionen von Härchen assimiliert die Pflanze unter normalen Bedingungen diejenige Masse mineralischer Substanz, die sie zu ihrer gedeihlichen Entwickelung benötigt.

Der unermüdliche Forschungstrieb hat es auch bereits versucht, die chemische Natur der Wurzelausscheidungen klarzustellen.

Von älteren Forschern hat wohl zuerst Decandolle bei Flechten saure Wurzelsekretionen beobachtet, ohne jedoch ihre Zusammensetzung zu untersuchen. Hierin scheint Knop die Priorität vor allen andern zu gebühren; er konstatierte das Austreten von kohlensauren Salzen, freier Kohlensäure und bei Stickstoffzufuhr von Salzsäure in Form von Chlorammonium aus den Wurzeln in Wasser kultivierter Pflanzen.[2])

„Doch muss man, wie A. Mayer treffend bemerkt, vorsichtig sein in der Übertragung dieser Wurzelausscheidungen auf die gewöhnlichen Vegetationsverhältnisse einer Bodenpflanze“.[3]) welche im Wasser vielleicht nach Quantität und Qualität andere Säfte ausscheidet als im Boden. A. Mayer hält es nicht für ausgeschlossen, dass die Wurzel Oxal- und Zitronensäure sezerniere,[4]) während ja die Kohlensäureausscheidung aus der bekanntermassen recht lebhaften Atmung der Wurzel resultiert. Die saure Natur der Wurzelausscheidungen dokumentiert sich als solche auch durch die beim Kontakt mit blauen Lackmuspapier erfolgende ziemlich deutliche Reaktion.

[1]) A. Mayer, Lehrbuch für Agrikulturchemie Bd. 1, S. 384.

[2]) Mitteilungen des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Leipzig Bd. 1, S. 88; nach A. Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie 1. Bd., 1901, S. 401.

[3]) A. Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie 1. Bd., 1901, S. 401.

[4]) Ebenda S. 163.

Wir sehen, im grossen und ganzen wissen wir nicht viel Positives über diese Dinge; erst eine neuere Arbeit Czapeks[1]) eröffnet uns scheinbar wichtige Gesichtspunkte.

Sehr begreiflich erscheint es, dass auch bezüglich der Wurzelsekretionen, wie überall, sich Unterschiede zwischen den einzelnen Pflanzenarten geltend machen; aber fast regelmässig konnte Czapek in den Wurzelausscheidungen einer Reihe zur Untersuchung herangezogener Pflanzen Kali, Chloride, Phosphate, Ameisensäure, Kohlensäure, Magnesium, selten Kalk und nur mit Unsicherheit schwefelsaure Salze konstatieren. Kohlensäure tritt in der Tat weit in den Vordergrund, und zwar ist sie nach Czapek die einzige freie Säure; die übrigen Stoffe neutraler Natur treten jedenfalls erst mit gewissen Bodenbestandteilen in Reaktion und veranlassen dadurch das Entstehen geringer Mengen freier Säure. Besonders soll KH_2PO_4 mit Chloriden im Boden in Verbindung treten und dadurch geringe Mengen freier Salzsäure entstehen lassen.

Mag auch z. B. die von Czapek ausgesprochene Vermutung, dass die Kohlensäureausscheidung, wie sie der Wurzel vermöge ihrer Atmung zukommt, allein schon hinreicht, um alle beobachteten Lösungserscheinungen zu erklären, vielleicht nicht den Tatsachen entsprechen, und mögen überhaupt die von ihm aufgestellten Gesichtspunkte noch der Bestätigung bedürfen, so scheinen sie doch viel beachtenswerter zu sein als die ebenfalls in neuerer Zeit von Kohn aufgestellte Theorie.

Kohn sucht die Wurzeltätigkeit auf elektrochemischem Wege zu erklären;[2]) nach seinen Untersuchungen wirken die Wurzeln wie positive Elektroden im Boden, sie ziehen die negativen Ionen der Bodensalze, die Säurereste (CO_3, SO_4, Cl, NO_3) an und stossen die positiven (H, K, NH_4 etc.) ab. „Nur vermöge ihrer elektrochemischen Kräfte, welchen nach dem heutigen Stand der physikalischen Kenntnisse keine andere Energieart gleichkommt, vermag die Wurzel die letzten Atomgruppen aus sehr dünnen Lösungen anzuziehen resp. abzustossen.“

Wie man sich aber den Übergang der von der Wurzel abgestossenen Elemente, wie z. B. des für das Pflanzenleben höchst bedeutungsvollen Kaliums in den Pflanzenkörper vorzustellen hat, lässt diese Theorie dahingestellt sein, schon Grund genug, dieselbe für sehr problematisch zu halten.

Ohne noch näher auf diese mehr abseits liegenden Fragen einzugehen, möchte ich nur noch auf eine ältere Untersuchung von Elfring[3]) hinweisen, nach welcher sich die Wurzel der Pflanze in der Regel dem positiven Pol eines auf sie einwirkenden galvanischen Stromes zuzukrümmen pflegt, und bemerken, dass Czapek in einer anderen Abhandlung den Kohnschen Untersuchungen jeden Wert abspricht,[4]) während es A. Mayer vollkommen dahingestellt sein lässt, ob irgendwelche Beziehungen zwischen Pflanzen-

[1]) Jahresber. über Fortschritte a. d. Gesamtgebiet der Landwirtschaft 1898, S. 42, und Fühling 1899, S. 421. Bericht von Rippert.

[2]) Versuchs-Stationen 1899, S. 313.

[3]) Wollny, Forschungen Bd. 5, S. 484.

[4]) Versuchs-Stationen 1899, S. 467.

wachstum und Elektrizität bestehen oder nicht.[1]) Wir sehen, vorderhand sind diese Fragen noch vollkommen ungeklärt, und eine gründliche Neubearbeitung tut sehr not und würde vielleicht manches beachtenswerte Resultat zutage fördern.

B. Wenn wir nun nach dem Verhalten der einzelnen Kulturpflanzen bezüglich ihrer Wurzelausscheidungen fragen, dann müssen wir, gestützt allerdings fast nur auf Erfahrungen, wohl im allgemeinen den anspruchsvollen Arten ein geringes Lösungsvermögen, den bescheidenen grössere Befähigung in der Ausscheidung ätzender, stofflösender Säfte zuerkennen.

Von dem Gehalt der Wurzeln an löslichen Säuren auf ihr Aufschliessungsvermögen zu schliessen, ist nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen. Danach muss den Leguminosen und Kruziferen hierin vor den Gramineen, Kompositen und Solaneen der Vorzug gegeben werden, denn die erstgenannte Gruppe dieser Familien hatte nach Analysen von Dyer ca. 1 % lösliche Säuren in ihren Wurzeln, die 2. Gruppe kaum mehr als die Hälfte.[2])

Als Beispiele für stark bodenlösende Pflanzen führt Mayer Luzerne, Lupine und Kartoffel, also auch eine Solanazee an.

Nach den neuesten Ansichten ist für manche Pflanzen, zu denen wieder die Zerealien gehören, die Phosphorsäure der Phosphorite fast unzugänglich, andere, wie Buchweizen, Lupine, Erbse, Senf, haben in ihren Wurzeln eine energische Absorptionsfähigkeit für Phosphate.[3]) Dass aber starkes Aufschliessungsvermögen nicht immer mit grossem Bewurzelungsvermögen Hand in Hand geht, wurde oben bereits auseinandergesetzt.

Auch kann es nicht bezweifelt werden, dass nicht alle Nährstoffe in gleicher Weise von der Pflanze angegriffen und assimiliert werden, sondern der eine meistenteils in weit stärkerem, der andere in geringerem Grade.

Einige Beispiele mögen zur Erläuterung dienen.

Die Unverträglichkeit der Lupine z. B. mit stark kalkhaltigem Boden findet, wenn man nicht nach B. Schulze[4]) den Grund hierfür in der Empfindlichkeit ihrer Knöllchenbakterien gegen einigermassen konzentrierten Kalkgehalt erblicken will, wofür ein exakter Beweis kaum vorliegen dürfte, am einfachsten darin ihre Erklärung, dass diese Pflanze aus ihren Wurzeln ein stark lösendes, nach Czapek selbst Kalk enthaltendes Reagens sezerniert.

Wenn sie nun bei reichlichem Kalkgehalt des Bodens zuviel davon in Lösung bringt, hat sie scheinbar unter den ätzenden Eigenschaften der zu konzentrierten Kalklösung zu leiden; andere Nährstoffe dagegen, namentlich das Kali, nimmt sie recht dankbar an. Aus ähnlichen Gründen dürften die relativ kalireichen Zuckerrüben und Kartoffeln einen Mangel an Kali wohl weniger übel nehmen, als den eines anderen Nährstoffes, und

[1]) A Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie, 1901, Bd. 1, S. 440.

[2]) Ebenda S. 406.

[3]) Journal 1903, Heft II, S. 212: v. Seelhorst, Untersuchungen über den Einfluss schwefelsäurehaltiger Düngemittel auf die Wirkung gleichzeitig gegebener phosphorsäurehaltiger Düngemittel.

[4]) Zentralblatt 1903, Heft X, S. 715.

der Hafer, der prozentisch kaum ärmer an Kali ist als Gerste, gleichfalls anspruchsloser bezüglich der Kalidüngung sein, weil er für Kaliverbindungen ein stärkeres Lösungsvermögen besitzt als diese Pflanze.

So findet die Unterscheidung zwischen Düngerbedürfnis und Nährstoffbedürfnis einer Pflanze in ihrer spezifischen Wurzelorganisation ihre Begründung,[1]) und analytische Untersuchungen der Wurzelausscheidungen würden nicht nur einen theoretischen Wert besitzen, sondern vielleicht auch zur Vervollkommnung der in praxi auszuführenden, auf praktische Erfahrungen und Düngungsversuche sich stützenden Düngungsmethoden beizutragen geeignet sein.

Es liegt in der Natur der Sache, dass ein grosser Vorrat von Nährstoffen eine starke Ausbildung des Wurzelsystems zur Folge hat, ebenso wie ja eine reichlichere Produktion oberirdischer Pflanzensubstanz daraus resultiert. Schon Liebig hat seinerzeit den allerdings von v. Seelhorst angefochtenen Satz aufgestellt: „Die Wurzel geht der Nahrung nach, als wenn sie Augen hätte."

Nobbe[2]) stellt fest, dass die Wurzelverzweigung am stärksten ist, wo die meisten Nährstoffe sind, und Tucker und v. Seelhorst[3]) folgerten aus ihren Versuchen, dass reichlicher Nährstoffvorrat zur Wurzelentwickelung anregt, und dass durch grössere Tiefenerstreckung der Wurzeln in besser gedüngten Böden sich die Pflanze ein Schutzmittel gegen Trockenheit verschafft.

Ähnlich sind die Ansichten von W. Funke.[4]) Andererseits liegt die Ansicht aber sehr nahe, dass die Pflanze gerade bei Nährstoffmangel ebenso wie bei Wassermangel der Ausbildung ihres Wurzelsystems auf Kosten ihrer oberirdischen Organe besondere Sorgfalt zuwendet, in dem natürlichen Bestreben, durch reichliche Wurzelentwickelung die spärlich vorhandene Nahrung nach Kräften sich anzueignen. Auch dafür liefert die Literatur Belege.

Deherain[5]) z. B. schloss in Übereinstimmung mit Breal aus seinen bezüglichen Experimenten, dass die Pflanze, in schlechtem Boden wachsend, im Streben nach Nahrung viele Wurzeln entwickelt und mit diesen den Boden nach kräftigender Nahrung durchsucht; gut genährte Pflanzen haben dagegen nur kleine Wurzeln. Und auch aus den oben zitierten Untersuchungen von Tucker und v. Seelhorst ging hervor, dass auf mageren Standorten das Gewichtsverhältnis zwischen Spross- und Wurzelmasse ein engeres sei als bei Nährstoffüberfluss, dass also „Düngung deutlich arbeitsersparend im Lebensprozess der Pflanze wirkt".

Manche Forscher suchten die Wirkung der einzelnen Pflanzennährstoffe auf das Wurzelwachstum zu ergründen.

---

[1]) Hiermit soll aber keinesfalls behauptet werden, dass dabei nicht auch andere Gründe mitsprechen könnten.

[2]) Journal 1872, Supplement, S. 136.

[3]) Biedermann, Zentralblatt 1899, S. 269, und Journal 1902, S. 91.

[4]) Journal 1895: Zur Tiefkultur und Untergrunddüngung.

[5]) Fühling 1894, S. 584.

Als erster ist W. Wolf zu nennen, welcher bei der Prüfung des de Saussureschen Gesetzes über die Aufsaugung einfacher Salzlösungen durch die Wurzel eine grosse Zahl Nährstoffe führender gelöster Salze auf die Wurzel von Bohne und Mais wirken liess und auf Grund seiner Beobachtungen anzunehmen geneigt ist, dass besonders Kalklösungen einen eigenen Reiz auf die Bildung des Wurzelsystems, namentlich was die Produktion von Nebenwurzeln anlangt, zu haben scheinen, während Magnesium, an Schwefelsäure oder auch an eine andere Säure gebunden, in schon geringer Konzentration krankhafte Bildungen hervorruft.[1])

Auch Loew stellte fest,[2]) dass bei einem Überschuss von MgO im Verhältnis zu CaO pathologische Wurzelentwickelung oder baldiger Tod der Wurzeln eintrat, bei einem Mangel aber nur eine Verzögerung.

Vermöge mehrjähriger Versuche glaubt Müller-Thurgau eine spezielle Begünstigung des Wurzelwachstums durch Stickstoff erwiesen zu haben,[3]) woran er die Hypothese knüpft, dass eine Eiweissbildung bei Zuführung von Zucker von den Blättern aus und von Stickstoff und Schwefel von den Wurzeln aus bereits in diesen selbst eintreten könne.

Garola dagegen schreibt der Phosphorsäure eine besonders günstige Wirkung auf die Wurzeln zu.[4]) Bei der bekannten Gleichwertigkeit dieser Nährstoffe für die Pflanze dürfte jedoch der Wert dieser Äusserungen nicht ganz unanfechtbar sein.

Eine von bewährtester Seite in Anregung gebrachte Düngungsmethode, die aber scheinbar seitens der Praktiker wenig Beachtung gefunden hat, kann hier nicht mit Stillschweigen übergangen werden.

Die zuerst von W. Funke vorgeschlagene, später von J. Kühn[5]) und C. Kraus[6]) auf ihren Wert geprüfte Untergrunddüngung bezweckt in erster Linie die stärkere Entwickelung des Wurzelsystems auch in tieferen Schichten, um dadurch mittelbar die im Untergrunde aufgehäuften Nährstoffe der Pflanze nutzbar zu machen.

Mag diese Kulturmethode auch wegen des grossen Arbeitsaufwandes und der grossen Kosten, die sie erfordert, in vielen Fällen nicht rentabel sein, so hat sie doch zweifellos den Effekt, vermöge des gesteigerten Wurzelwachstums der Pflanze eine möglichst gesicherte und gleichmässige Wasserversorgung zu verbürgen; einen praktisch hoch bedeutsamen Wert hat sie nach J. Kühn zweifellos für Zuckerrüben.

Ich habe mich im 2. Teile dieser Erörterung bemüht, an der Hand der Literatur die mechanisch-physikalischen und die chemischen Wachstumsfaktoren in ihrer Einwirkung auf das Wurzelwachstum zu erörtern und zu zergliedern; wenn ich daher zum Schluss dieses Teils auf die von mehreren der hier zitierten Autoren (Kraus, Hellriegel u. a.) bestätigte

[1]) Versuchs-Stationen 1864, S. 203 ff.
[2]) Biedermann 1893, S. 622.
[3]) Ebenda 1896, S. 595, und 1901, S. 398.
[4]) Ebenda Bd. 21, S. 116.
[5]) Berichte aus dem physiologischen Laboratorium 1894, S. 160.
[6]) Wollny, Forschungen 1896, Bd. 19, S. 80 ff.

Tatsache hinweise, dass die Beschaffenheit des Substrats oder im praktischen Sinne die Qualität, Behandlung und Düngung des Bodens die Wurzelentwickelung ganz ausserordentlich modifizieren und unter Umständen selbst so beeinflussen können, dass der jeder Pflanzenart von der Natur mitgegebene Wurzeltypus, namentlich was das Tiefenwachstum betrifft, vollkommen verschwindet, so glaube ich unter Hinweis auf die vorausgehenden Ausführungen zu diesem Satze weiter keine Erläuterungen hinzufügen zu dürfen.

Das aus der Literaturbesprechung gezogene Fazit.

Dass ein so wichtiger Gegenstand wie die Bewurzelung unserer Kulturgewächse bei dem heutigen Stand der landwirtschaftlichen Wissenschaft bereits eine vielseitige und umfassende Bearbeitung gefunden hat, kann uns nicht im geringsten wundernehmen.

Die Fülle des vorliegenden wertvollen Materials zwang mich daher dazu, der Übersicht über die einschlägige Literatur einen breiteren Raum zu gewähren, als es vielleicht sonst bei derartigen Abhandlungen angängig sein mag. Gleichwohl sahen wir, dass unsere Kenntnis über die Bewurzelung und über die Nährstoffaufnahme durch die Wurzel — ein Gegenstand, den wir freilich nur flüchtig streifen konnten — noch manche Lücken aufweist. Sie alle durch eine darauf Bezug nehmende Arbeit, zu die mir Herr Professor von Rümker freundliche Anregung gab, auszufüllen und ein in sich abgerundetes Bild über die Bewurzelung aller der Gewächse, welche wir anzubauen pflegen, zu geben, der Versuch hierzu musste von vornherein als aussichtslos aufgegeben werden; einmal schon, weil sich eine derartige Arbeit nur auf kurze Zeit beschränken kann, dann aber auch wegen sehr viel anderer weit grösserer Schwierigkeiten.

Vorliegende Arbeit verfolgt daher lediglich den Zweck, einige Ergänzungen zur Kenntnis über die Bewurzelung derjenigen Gewächse, welche für die Bewohner der gemässigten Zone zweifellos den höchsten Kulturwert besitzen, nämlich unserer Hauptgetreidearten, zu liefern.

Denn wenn auch kaum behauptet werden kann, dass dieselben bisher bezüglich ihrer Bewurzelung weniger genau untersucht sind als z. B. die Leguminosen, so regten mich doch einige, wie ich aus der Literatur erkannte, bisher nur teilweise gelöste, sonst noch offene Fragen über diese Dinge an, gerade auf die Zerealien mein Augenmerk zu richten und zu versuchen, zu älteren Befunden neues Vergleichsmaterial zu gewinnen, um dadurch das Resultat von Untersuchungen, welchen sonst nur ein lokaler Wert zuerkannt werden kann, auch unter anderen Verhältnissen zu prüfen und event. mehr zu verallgemeinern.

Den ersten Anknüpfungspunkt gab mir eine in der Literaturbesprechung mehrfach herangezogene neuere Abhandlung v. Seelhorsts: „Über Bewurzelung und den Einfluss der Düngung auf dieselbe.“ [1]) Verfasser konstatierte bei allen zur Untersuchung herangezogenen Pflanzen-

[1]) Journal 1902, Heft 1, S. 91.

arten ein mehr als metertiefes Eindringen der Pflanzenwurzeln in den Untergrund und eine deutliche Begünstigung der Tiefenerstreckung durch Düngung. Jedoch warnt er nachdrücklich vor der Verallgemeinerung seiner Resultate. „Denn der Boden des Göttinger Versuchsfeldes sei bis in beträchtliche Tiefen hinab absolut gleichartig und gut“, und nur diesem Umstande ist vielleicht obiger Befund zu verdanken. Ältere Untersuchungen z. B. von Hellriegel und Orth, führten zwar zu ähnlichen Resultaten selbst auf dem lehmigen Sandboden mit lehmigem bezw. grobsandigem Untergrund des Versuchsfeldes zu Dahme und auf dem leichten Sande des Berliner Versuchsfeldes; auf einem extrem schweren und bindigem Boden jedoch wurden die Verhältnisse, wenigstens mit besonderer Berücksichtigung der Bodenqualität, noch nicht geprüft. Hierauf in erster Linie mein Augenmerk zu richten, war für mich sehr naheliegend, besonders da mir das Rosenthaler Versuchsfeld mit seinem tonigen Oderalluviallehm sehr günstige Gelegenheit dazu bot.

Sodann steckte ich mir das Ziel, die Hauptgetreidearten bezüglich ihres Bewurzelungsvermögens miteinander zu vergleichen und auch verschiedene Sorten daraufhin zu untersuchen. Hierbei war darauf Bedacht zu nehmen, durch geeignete Versuchsanstellung den Pflanzen möglichst gleichartige Wachstumsbedingungen zu verschaffen.

Weiterhin aber sollte die Wurzelentwickelung unter dem Einfluss verschiedenartiger Wachstumsbedingungen beobachtet, also z. B. die Beziehungen zwischen Bewurzelung und Aussaatdichte und Bewurzelung und Bodenqualität festgestellt und der Einfluss der Fruchtfolge auf die Bewurzelung der Zerealien untersucht werden.

Zwar sind fast alle diese Punkte bei älteren ähnlichen Arbeiten nicht ganz unberücksichtigt geblieben, doch ist keiner derselben so eingehend untersucht, dass eine Nachuntersuchung, noch dazu unter anderen Wachstumsverhältnissen, ganz zweck- und wertlos gewesen wäre.

Über manches, wie über die event. Unterschiede im Bewurzelungsvermögen zu einer Art gehöriger Sorten oder über die Ausnutzung des Bodens durch die Wurzeln bei verschiedenen Aussaatdichten, hat man bisher noch gar keine oder nur sehr wenige Erhebungen angestellt.

Bei dem engen Zusammenhang zwischen Bewurzelung und Bestockung des Getreides (s. S. 20—22) lag es in der Natur der Sache, bei vorliegenden Untersuchungen auch die Bestockung der einzelnen Sorten zu beobachten und ihr Verhältnis zur Bewurzelung festzustellen.

Die Versuchsanstellung.

Versuch I.

Das Bewurzelungsvermögen der Getreidearten und einiger Sorten im Vergleiche miteinander.

Um die Frage, ob zwischen verschiedenen zu einer Art bezw. Gattung gehörigen Sorten Unterschiede im Bewurzelungsvermögen bestehen, entscheiden zu können, war es wünschenswert, eine möglichst grosse Anzahl von

Sorten der Untersuchung zu unterwerfen. Anderseits aber musste wegen der mühseligen und ausserordentlich zeitraubenden Arbeit, welche eine derartige Untersuchung erheischt, ihre Zahl auch beschränkt sein. Ohne daher auf Sorten zu verfallen, deren Anbauwert in unsern Gegenden besonders gering ist und für die wir daher nur wenig Interesse übrig haben, hielt ich es für angemessen, Sorten auszuwählen, welche durch ihre systematische Stellung und in ihren Ansprüchen an Kultur- und Düngungszustand des Bodens erheblich voneinander abweichen. Auf diese Weise durfte ich hoffen, am ehesten charakteristische Unterschiede zu finden; auch konnte so die Bestockung anspruchsvoller, ertragreicher und bescheidener, weniger ergiebiger Sorten miteinander verglichen werden.

Die auf eigens dazu angelegten Parzellen im Oktober 1902 bestellten Winterhalmfrüchte überstanden leider den harten und schneearmen Winter nicht; ich musste mich daher mit Sommerung begnügen und zwar wählte ich folgende Sorten:

1. Heines Chevaliergerste. Die Chevaliergersten sind allgemein als Kulturrassen, als sehr ertragreiche, anspruchsvolle und, wenn sie in ihren Ansprüchen genügenden Verhältnissen angebaut werden, feinste Brauware liefernde Gersten bekannt.[1])

2. Mandschureigerste. Sie gehört zu den 4zeiligen Gersten, welche im allgemeinen geringere Kulturansprüche machen und demgemäss weniger hohe Erträge liefern.

3. Beselers Hafer No. II. Diese durch Individualauslese aus Probsteier Hafer entstandene Sorte ist im allgemeinen mehr für reiche Böden und hohe Kultur geeignet; unter diesen Verhältnissen bringt sie aber Höchsterträge an Korn und Stroh.

4. Leutewitzer Hafer. Aus sächsischem Gebirgshafer entstanden, daher eine veredelte Landrasse, erfreut sich dieser Hafer weit und breit grosser Beliebtheit; denn er gedeiht auf schweren und leichten Böden mit grosser Sicherheit und bringt auch unter magern Verhältnissen noch relativ reiche Ernten.

5. Noës (Sommer-) Weizen, eine aus Frankreich stammende, schon sehr alte Kulturrasse mit langer Vegetationsdauer und hohen Ansprüchen an Boden und Klima.

6. Lupitzer (Sommer-) Sandweizen, auch eine durch Selektion veredelte Landrasse, welche auf dem Lupitzer Sande immer noch befriedigende Erträge brachte und wegen ihrer grossen Bescheidenheit bezüglich der Ernährung in direkten Gegensatz zum Noëweizen gestellt werden kann.

Zum Anbau dieser Sorten stellte mir Herr Prof. v. Rümker liebenswürdigerweise ein reichlich bemessenes, allen Ansprüchen genügendes Stück Feld der Versuchswirtschaft Rosenthal zur Verfügung.

Dafür, sowie für seine Ratschläge und die gütige Teilnahme, die er jederzeit an dem Gang meiner Arbeit bekundete, bin ich Herrn v. Rümker zu vielem Dank verpflichtet.

[1]) Die Angaben über die Sorteneigenschaften sind grösstenteils der v. Rümkerschen Schrift „Neues über Sortenauswahl“ entnommen.

Das mir übergebene Stück Feld befand sich in jeder Hinsicht in ausgezeichneter Verfassung. Obgleich dasselbe seit 6 Jahren keine Düngung erhalten hatte, waren, wie die vorgenommenen Bodenanalysen bewiesen, alle Nährstoffe in normaler bis reichlicher Weise vertreten. Auch der physikalische Zustand war infolge der rationellen Behandlung, des rechtzeitigen Stoppelumbruchs und der noch vor Winter vorgenommenen Ackerung trotz der an sich ausserordentlich bindigen und zähen Beschaffenheit des Bodens im Frühjahr ein ganz ausgezeichneter und, wie man wohl zu sagen pflegt, einem in Gärung befindlichen Teige nicht unähnlich. Die Vorfrucht war 2jähriger Rotklee.

Nur handelte es sich darum, durch Schaffung ganz gleichartiger Vegetationsbedingungen dem Versuch auch in dieser Hinsicht eine gesunde Basis zu verbürgen.

Die Bestellung erfolgte daher nach Saatzeit, Saattiefe und Saatdichte einheitlich auf allen Parzellen. Auf gutes, gleichmässiges Saatgut wurde besondere Sorgfalt verwendet. Auch das war ein unbedingtes Erfordernis, denn nur grosse, schwere Körner besitzen einen grossen Keimling mit guten Wurzelanlagen und bieten demselben in ihrem Endosperm reichliche Nahrung,[1]) bis er selbst, zur jungen Pflanze herangewachsen, befähigt ist, aus den ihn umgebenden Medien die nötigen Nährstoffe zu assimilieren. Ebenso war die Sortenreinheit unanfechtbar, denn bis auf die Mandschureigerste war sämtliches Saatgut direkt vom Züchter bezogen.

Man konnte also mit Bestimmtheit annehmen, dass die Rasseeigentümlichkeit voll zur Geltung kommen würde.

Am meisten musste eine Störung der Gleichmässigkeit aller Wachstumsfaktoren durch Unregelmässigkeiten im Boden befürchtet werden. Durch geeignete Versuchsanstellung aber bemühte ich mich, einen hierdurch entstehenden Versuchsfehler auszuschalten, indem von jeder Sorte 4 Parzellen à 6 qm Grösse über eine möglichst grosse Fläche verteilt wurden.

Am 24. März wurden die Körner mit der Hand bei einer Reihenentfernung von 10 cm und einem Abstand der Pflanzen innerhalb der Reihe von 7 cm genau auf eine Tiefe von 3 cm gelegt und eine schachbrettartige Verteilung der Früchte auf die Parzellen derart vorgenommen, wie sie nachstehende kleine Skizze veranschaulicht.

M. G.	L. S. W.	B. H.	Ch. G.	
L. S. W.	B. H.	Ch. G.	N. W.	L. H.
B. H.	Ch. G.	N. W.	L. H.	M. G.
Ch. G.	N. W.	L. H.	M. G.	L. S. W.
N. W.	L. H.	M. G.	L. S. W.	B. H.

Indem ich so für jede Sorte über 4 sich gegenseitig kontrollierende Parzellen verfügte, hoffte ich allen Anforderungen einer einwandfreien Versuchsanstellung genügt zu haben.[2])

---

[1]) v. Rümker, Getreidezüchtung S. 7.

[2]) Zur Erklärung der Abkürzungen: N. W. = Noë-Weizen, M. G. = Mandschureigerste, L. S. W. = Lupitzer Sandweizen, B. H. = Beselers Hafer, Ch. G. = Chevaliergerste, L. H. = Leutewitzer Hafer.

Versuch II.

Bewurzelung und Bestockung bei verschiedener Standweite.

Während bei dem 1. Versuch die spezifische Bewurzelung und Bestockung jeder Sorte voll zur Geltung kommen sollte, stellt sich Versuch II die Aufgabe, beide Erscheinungen unter dem Einfluss verschiedener Standweiten der Pflanzen zu studieren und die Gewichte der ober- und unterirdischen Pflanzenmassen im Verhältnis zueinander unter diesen Bedingungen zu prüfen. Alle 6 Sorten wieder der Untersuchung zu unterwerfen, war wegen der sich überhäufenden Arbeit nicht angängig. Ich wählte daher nur eine Sorte, die Chevaliergerste.

Der Versuch wurde so angestellt, dass auf 8 Parzellen von je 5—6 qm Fläche am 15. April die Saatkörner in verschiedenen, von Parzelle zu Parzelle zunehmenden Abständen gelegt wurden, und zwar folgendermassen:

Parzelle No.	Entfernung der Reihen voneinander cm	Entfernung der Körner innerhalb der Reihe cm	Standraum pro Pflanze qcm
1	5	2	10
2	8	4	32
3	10	5	50
4	15	7	105
5	20	10	200
6	35	15	525
7	50	20	1000
8	100	50	5000

Versuch III.

Bewurzelung in verschiedenen Böden.

Nährstoffreichtum des Bodens regt, wie ja natürlich, die Pflanze zu regerem Wurzelwachstum an. Jedoch verwendet auf einem nährstoffarmen Standort die Pflanze auf die Entwickelung ihres Wurzelsystems verhältnismässig oder relativ mehr Arbeit als unter reichen Ernährungsverhältnissen, oder, wie wir das auch ausdrücken können, das Verhältnis der Gewichte von Wurzel- und Sprossmasse von Pflanzen, welche auf guten, an Nährstoffen reichen Böden gewachsen sind, ist ein engeres als das auf armen Standorten kultivierter Pflanzen, aus Gründen, die wir oben schon näher auseinandersetzten. Dass experimentelle Nachweise hierfür vorliegen, zeigten wir gleichfalls in der Literaturbesprechung. Da diese jedoch nicht allzu reichlich und vielseitig sind, so wollte ich versuchen, auf Grund eigener Erfahrung ein Urteil über diese interessante Frage zu gewinnen und ihr in einem 3. Versuch näher zu treten.

Das Wesen desselben erforderte es, den Versuchspflanzen künstliche Standorte zu schaffen, und zwar war darauf Bedacht zu nehmen, den Pflanzen ein möglichst grosses Bodenvolumen zur Verfügung zu stellen, um die Wurzel in ihrer natürlichen und freien Entwickelung möglichst wenig zu behindern.

Die zur Verwendung gelangenden 3 Bodenarten, welche das an verschiedenartigen Böden reiche Versuchsfeld zu Rosenthal lieferte, wurden daher in lufttrockenem Zustande in zehn Gefässe à 50 cm Höhe mit einem lichten Durchmesser von 40 cm und einem unteren Durchmesser von 20 cm in folgender Verteilung gefüllt:

Topf 1 und 2 erhielten 47,6 kg eines mittleren, nach der Schlämmanalyse, die ich ausführte, als tonigen Lehm zu bezeichnenden Bodens; Topf 3 und 4 wurden mit einem gleichen Quantum schweren Tonbodens, 5 und 6 mit ebensoviel lehmigem Sand gefüllt; 7 und 8 versah ich mit 24,14 kg Tonboden und darauf lagerte ich das zum Gesamtgewicht fehlende Quantum, also noch 23,56 kg lehmigen Sand. In gleicher Weise wurden 9 und 10 unten mit Sand und oben mit Ton gefüllt.

Um die Luftzirkulation in den Gefässen zu fördern, schüttete ich vor dem Einfüllen des Bodens auf den Grund eines jeden eine 4—5 cm hohe Schicht mässig grosser Kieselsteine.

Vor der Ausführung der Saat erhielt jeder Topf ein Quantum Wasser, welches einem Gehalt von 60 % der wasserfassenden Kraft einer jeden der 3 Bodenarten entsprach.

Durch häufiges Wägen während der ganzen Vegetationsperiode wurde dafür gesorgt, dass dieses dem Wachstum der Pflanzen ja im allgemeinen zuträglichste Feuchtigkeitsmass immer aufrecht erhalten blieb.

Jedes Gefäss wurde bei einem Oberflächeninhalt von 1256.73 qcm mit je 32 vorher angekeimten Haferkörnern so bepflanzt, dass die Abstände der Pflanzen voneinander 5 cm in der Quer- und Längsrichtung betrugen, während den Randpflanzen bei allen Töpfen gleichviel Raum mehr zur Verfügung stand.

Um die Pflanzen gegen extreme Witterungseinflüsse schützen zu können, erhielten die Töpfe einen dauernden Standort unter einem kleinen, an den Seiten mit Rouleaux aus starker Leinwand versehenen Vegetationshaus.

Verlauf der Vegetation und Pflege der Saaten.

Keimung und Auflaufen der Saaten ging infolge der kühlen, eher trockenen als feuchten Witterung während der letzten Märztage und am Anfang des Aprils nur zögernd und langsam von statten. Hier prangten die jungen Pflänzchen nach einer Reihe von Tagen schon in frischem Grün, dort lag das Saatkorn noch wie tot im Boden. Vom 17.—19. April tobte ein heftiges Schneewetter und brachte massenhafte Niederschläge. Aber die Sorge um die jungen Saaten war glücklicherweise unnötig, denn die nun folgende Temperaturerhöhung und das rapid einsetzende Tauwetter brachten Wärme und Feuchtigkeit in reichlichem Mafse, und am 28. April konnte ich konstatieren, dass alle in der Keimung zurückgebliebenen Körner das Versäumte nachgeholt hatten und der Stand der Pflanzen auf allen Parzellen durchweg ein gleichmässiger und schöner zu nennen war. Auch die am 15. April mit Gerste bestellten Parzellen 1—8 des Versuchs II waren gut und regelmässig aufgegangen. Der weitere Verlauf der Entwickelung war bei den reichlichen und auch zeitlich gut verteilten Nieder-

schlägen trotz der nicht allzu günstigen Temperaturverhältnisse während dieses Sommers ein recht üppiger, und die Pflanzen auf den Freilandparzellen verhiessen ein durchaus glückliches Gelingen der Versuche. Nur zuletzt infolge der schweren, nicht enden wollenden Regengüsse während der 1. Hälfte des Juli trat hier und da ein wenig Lager ein.

Die Niederschlagsmenge und Temperaturverhältnisse während der Vegetationsperiode 1903 veranschaulicht folgende Tabelle, zusammengestellt nach den Feststellungen der Wetterwarte auf hiesigem Versuchsfelde.

Monat	Temperatur der freien Luft früh 8 Uhr im Schatten	Temperatur der Erdtiefen in Zentimeter								Niederschläge im Mittel pro Tag	Niederschläge in Summa
		2	5	10	20	30	60	90	120		
Januar . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,93	29,1
Februar . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,90	25,3
März	4,5	8,7	7,1	7,4	8,3	5,2	4,8	4,6	4,8	0,44	13,7
April	5,2	5,7	5,0	5,0	5,7	6,6	6,4	6,3	6,3	1,8	54,14
Mai	13,8	16,1	14,1	12,8	13,1	13,6	11,4	10,1	9,3	1,69	52,3
Juni	15,5	18,8	17,1	15,8	16,0	16,7	14,8	13,5	12,5	1,7	50,0
Juli	17,3	19,6	18,2	17,0	17,5	17,7	15,8	14,5	13,8	2,97	92,2
August	16,5	17,1	15,8	15,6	16,3	17,1	15,8	15,1	14,3	2,4	74,0
										Summa:	390,74

Die Pflege der Saaten bestand in häufigem Beseitigen des Unkrautes durch Jäten. Da auf hiesigem Versuchsfelde die Unkrautwüchsigkeit infolge der in früheren Jahren ausgeführten Düngung mit städtischem Müll und bei der diesjährigen grossen Feuchtigkeit eine ganz enorme war, und da es mir bei den bevorstehenden Untersuchungen über Bewurzelung selbstverständlich auf unkrautfreien Stand der Saaten ankam, so war mit grosser Sorgfalt auf die Reinigung der Parzellen von Unkraut Bedacht zu nehmen. Herr Dr. Bormann, der Administrator des Versuchsfeldes, stellte mir zu diesem wie zu jedem anderen Zweck bereitwilligst die nötigen Arbeitskräfte jederzeit zur Verfügung, und ich kann es nicht unterlassen, ihm dafür meinen ergebensten Dank auszudrücken. So wurde ich jederzeit Herr des lästigen Unkrautes und irrtümliche Angaben bezüglich der Bewurzelung sind vollkommen ausgeschlossen.

Krankheiten traten so gut wie gar nicht auf, nur beim Weizen hier und da ein wenig Staubbrand, und auf den ganz einzelnstehenden Gerstenpflanzen des Versuchs II liessen sich die Blattläuse nieder. Im allgemeinen liess also das Gedeihen der Versuchspflanzen im freien Lande nichts zu wünschen übrig. Anders die Pflanzen in den Töpfen. Nach einem gleichmässigen Auflaufen ging das Wachstum nur langsam von statten und stockte bald bei dem mit schwerem Ton versehenen Topf 3 und 4 mehr als bei allen anderen; im lehmigen Sande gediehen dagegen die Pflanzen besser als alle anderen. Die Gründe dafür, in erster Linie zweifellos physikalischer Natur, werden später noch eingehend erörtert werden. Vor der Hand sei

nur dies gleich hier betont, dass dieser Versuch nicht als so gelungen bezeichnet werden kann, wie es wünschenswert gewesen wäre. Dass er gleichwohl einiges Bemerkenswertes aufzuweisen hat, werden wir gleichfalls erst weiter unten zeigen.

Die Untersuchung.

Versuch I.

Beschreibung der Untersuchungsmethode.

In der Literaturbesprechung wiesen wir gelegentlich darauf hin, dass Wurzeluntersuchungen mit grossen, wenngleich rein mechanischen Schwierigkeiten verbunden sind; man kennt keine recht taugliche Untersuchungsmethode dafür. Der Wurzeltiefgang, durch einfaches Nachgraben bestimmt, gibt an sich natürlich noch kein anschauliches Bild von dem Bewurzelungsvermögen einer Pflanzenart. Der Versuch, durch Auswaschen aus dem Boden die Wurzelmasse einer einzelnen Pflanze zu erhalten, ist vielleicht bei starken Pfahlwurzlern angängig, aber auch nur unter grossen Verlusten an feinen und feinsten Fäserchen durchführbar. Für Wurzeluntersuchungen unserer Zerealien mit ihrem Faserwurzelsystem aber kann, noch dazu auf dem schweren Boden des Versuchsfeldes, diese Methode gleichfalls nicht in Betracht kommen. Andere Arten der Untersuchung, welche man wohl bisweilen vorgeschlagen hat, leiden alle an grösseren oder kleineren Mängeln und boten auch wenig Aussicht auf gute Erfolge.

Ich bin daher Herrn Professor Pfeiffer sehr dankbar, dass er mir gelegentlich den Rat erteilte, die vor beinahe 40 Jahren von Hellriegel in Anwendung gebrachte, neuerdings auch wieder von v. Seelhorst benutzte Untersuchungsmethode nachzuahmen, bei welcher man mit Hilfe eines Apparates, den ich nun mit Hellriegels eigenen Worten[1]) beschreiben werde, zu relativ sicheren Resultaten gelangt.

„Das Instrument, eine Art Erdbohrer, bestand aus einem hohlen Zylinder von starkem Eisenblech mit 226 mm lichtem Durchmesser und 250 mm Höhe, dessen unterer Rand zugeschärft und verstählt war. Über dem oberen Rand war ein kräftiges Eisenkreuz festgelötet, welches einen starken Stab mit Handgriff trug." Bei der ausserordentlich starken Bindigkeit des Bodens auf hiesigem Versuchsfeld konnte nur ein äusserst kompakt beschaffener und fest zusammengeschmiedeter Apparat seinen Zweck erfüllen. Auch war es natürlich nicht angängig, denselben, wie Hellriegel sagt, „mit festem Druck in den Boden einzutreiben". Vielmehr musste so verfahren werden, dass ein fester, länglicher, unten und oben durch Eisenbänder zusammengehaltener Holzklotz auf den oberen Rand des Zylinders aufgesetzt und dann mit gehörigem Ändern der Stellung durch wuchtige Schlegelhiebe so lange durch Vermittlung des Holzklotzes auf den Zylinder ein Druck ausgeübt wurde, bis dieser die gewünschte Tiefe erreicht hatte.

„Auf einer gut bestandenen Stelle im Felde wird dieser Eisenzylinder aufgesetzt und durch kräftigen Druck so lange eingetrieben, bis sein oberer

[1]) Hellriegel, Grundlagen des Ackerbaues, 1883, S. 255.

Rand sich in einer Ebene mit der Erdoberfläche befindet. Der Boden wird darauf ringsum bis zum unteren Rande des Zylinders abgegraben, der Apparat umgelegt, nach Zählung der herausragenden, abgerissenen Wurzelstümpfe der Boden ausgeschüttelt, der Erdbohrer auf der alten Bruchstelle wieder aufgesetzt, zum zweiten Male eingetrieben etc., und überhaupt die ganze Operation auf derselben Stelle so oft wiederholt, als sich noch Wurzelstümpfe im Boden finden."

Bei aller Einfachheit schien mir das Verfahren durchaus brauchbar zu sein, und ich zögerte nicht, dasselbe anzuwenden.

Da die Versuchspflanzen je einen Standraum von 70 qcm zur Verfügung hatten und der Eisenzylinder 400 qcm fasste, so umschloss er jedesmal die oberirdische Masse von 6 Pflanzen.

Die ganze dazugehörige Wurzelmasse konnte natürlich nicht gewonnen werden, weil die schräg abwärts wachsenden Wurzelstränge, soweit sie sich nicht innerhalb der 400 qcm befanden, durch den scharfen Rand des Zylinders abgeschnitten wurden; dagegen befand sich eine beträchtliche Zahl von Wurzelfasern der benachbarten Pflanzen mit in jedem Bohrkern.

Indem jedoch auf allen Parzellen bei sorgfältiger Vermeidung von Randpflanzen genau dasselbe Verfahren angewandt wurde, konnten sehr wohl vergleichende Beobachtungen der einzelnen Getreidearten angestellt werden.

Es galt nun, die Wurzelmasse zwecks Gewichtsbestimmung aus dem Boden zu isolieren, zunächst allerdings mit sehr geringer Aussicht auf Erfolg.

Nach einigen vergeblichen Bemühungen gelang es mir jedoch tatsächlich, die Wurzelmasse unter nur mässigen Verlusten zu gewinnen. Freilich musste ich mich bei dem mit der Tiefe an Härte und Bindigkeit immer mehr zunehmenden Boden damit begnügen, die Wurzelmasse aus den ersten beiden Bohrkernen, also bis zu 50 cm Tiefe auszuwaschen, was, wie ich bestimmt annehmen kann, kein grosses Manko ergeben hat, denn die unterhalb 50 cm befindliche Wurzelmasse war nur minimal. Die Art des Verfahrens war kurz folgende:

Nachdem der Eisenzylinder mit der darin befindlichen Erdmasse eine Zeitlang unter Wasser gestanden hatte, wurde der untere Querschnitt desselben in einem kleinen Bottich einem von ca. 3 m Höhe herabgeleiteten druckkräftigen Wasserstrahl ausgesetzt. Nur langsam fing der bindige Boden an, sich in kleinen Teilchen von der ganzen Masse loszulösen, zahlreiche Wurzelfasern mit sich reissend, welche sorgsam aufgefangen und aufbewahrt wurden. Das aus einem Reservoir in einem langen Schlauch herabgeleitete Wasser nebst den losgelösten Bodenteilchen fand aus dem Bottich, in dem sich der Zylinder befand, durch eine Öffnung Abfluss und hatte, bevor es in einen Abflussgraben gelangte, noch ein sehr feinmaschiges Sieb zu passieren, wo die gröberen, im Wasser nicht suspendierten Bodenteilchen und sämtliche mit fortgerissenen Wurzelfasern hängen blieben. War so etwa die Hälfte der im Zylinder befindlichen Bodenmasse abgespült, wurde durch einen kräftigen Wasserstrahl der noch übrig bleibende Rest so lange durchweicht, bis er mit einiger Hilfe ganz heraus und in den Bottich hineinrutschte. Aus der teigigen Masse, die teilweise nach dem

Siebe abfloss, wurden sämtliche Fäserchen sorgfältig isoliert, desgleichen die von dem abfliessenden Wasser mit fortgerissenen aus dem Siebe ausgewaschen und ausgesiebt. Zwecks der Gewichtsfeststellung wurde die gewonnene Masse getrocknet, mit Schere und Pinzette von allen Unreinigkeiten sorgfältig befreit, dann, um alle fest anhängenden Bodenteilchen loszulösen, kurze Zeit in Wasser gekocht, nochmals gründlich gewaschen, im Trockenschrank ca. 3 Stunden bei 60—70° getrocknet und nach 24stündigem Stehen an der Luft als lufttrockne Masse auf 3 Dezimalstellen gewogen. Trotz grösster Vorsicht unvermeidliche Verluste mussten mit in Kauf genommen werden und konnten, da für jede Getreidesorte 4 Versuchsparzellen zur Verfügung standen, wohl kontrolliert werden. In gleicher Weise wurden die Stengel und Blätter getrocknet und ihr Gewicht festgestellt. Danach ergeben sich die auf Seite 41—43 angeführten Tabellen.

Um etwaige Bedenken nicht aufkommen zu lassen, sei noch bemerkt, dass, wenn der Bohrkern einmal nicht ganz glatt und eben abbrach, die so entstehende Differenz in der Bohrungstiefe, die sich allenfalls auf 5—8 cm belaufen konnte, mit Sorgfalt sofort bei der nächsten Bohrung ausgeglichen wurde.

Es war sehr wünschenswert, die Nachbohrungen in verschiedenen Entwickelungsstadien der Pflanze vorzunehmen, um dadurch ein Bild über den periodischen Entwickelungsgang des Wurzelsystems und über das Verhältnis der Gewichte von Wurzel- und Blatt- und Stengelmasse zu verschiedenen Zeiten zu gewinnen. Deshalb wurde dreimal auf jeder Parzelle nachgebohrt. Die 1. Ausgrabung fällt in ein jugendliches Entwickelungsstadium, in die Zeit der Bildung der Stocktriebe, die 2. in die Zeit des Schossens und die 3. in die Zeit der Gelb- bezw. Totreife. Entsprechend der verschieden langen Vegetationsdauer der einzelnen Sorten mussten auch die Ausgrabungen an verschiedenen Daten erfolgen, doch ergaben sich nur geringe Zeitdifferenzen.

Die 1. Ausgrabung erfolgte für sämtliche Arten am 16.—18. Mai, die 2. desgleichen am 17.—19. Juni, die 3. für die Gersten- und Hafersorten, sowie für den Lupitzer Sandweizen am 3.—4. und 5.—7. Juli. In diesen Tagen näherten sich die Gersten allerdings der Totreife, während der Hafer und Weizen noch in der Gelbreife standen. Der Noëweizen endlich konnte der letzten Untersuchung erst am 19. August unterworfen werden.

Die Beschreibung des Bodens.

Eine Beschreibung des Bodens in seinen verschiedenen Schichtungen ist zur Ergänzung vorliegender Feststellungen durchaus erforderlich, denn bekanntlich ist die Bodenqualität von bestimmendem Einfluss für die Entwickelung der Wurzelmasse.

Diesbezügliche Angaben finden sich in den Mitteilungen der landwirtschaftlichen Institute[1]) der Universität Breslau. Danach „stellt sich die mechanische Bodenkonstitution des Versuchsfeldes für $^2/_3$ der Fläche

[1]) Mitteilungen der landw. Institute 1900, 3. Heft, S. 1—28. v. Rümker, Der Boden und die Bewirtschaftung des landw. Versuchsfeldes.

dar als toniger Lehm und lehmiger Ton, in 40—100 cm und mehr Mächtigkeit auf Sand gelagert". Innerhalb dieser so beschaffenen Bodenfläche liegen meine Parzellen, und zwar ergab sich auf Grund eigener Feststellungen, dass der obenauf gelagerte lehmige Ton ca. 45 cm mächtig ist, wo er in einen noch feinerdereicheren, bei Trockenheit fast steinharten, bei Feuchtigkeit plastischen, durch starken Eisengehalt braunrot gefärbten Boden, in welchem die Bohrungen nur mit grösstem Kraftaufwand möglich waren, übergeht. Die Mächtigkeit dieser, nach ihrem ganzen Aussehen und Verhalten als lettiger, eisenreicher Tonboden zu bezeichnenden Bodenschicht beträgt etwa 35 cm. Bei 70—80 cm Tiefe schliesst sich der zunächst noch eisenschüssige und mit Lehmteilchen vermischte, allmählich ein fast weisses Aussehen annehmende Sand an.

Die genau nach Kühnscher Vorschrift vorgenommene mechanische Analyse ergab für die beiden oberen Bodenschichten folgende Zusammensetzung:

1. Der obenauf gelagerte, ca. 45 cm mächtige lehmige Tonboden bezw. tonige Lehm:

Steinchen >4 mm	0 %
„ 2—4 „	0,418 „
„ 1—2 „	1,544 „
„ $^1/_2$—1 „	15,720 „
„ $^1/_4$—$^1/_2$ „	20,230 „
„ $<^1/_4$ „	11,730 „
Abschlämmbare Teile	50,358 „
	100,000 %.

2. Der ca. 35 cm mächtige, lettige, eisenreiche Tonboden:

Steinchen >4 mm	0 %
„ 2—4 „	0 „
„ 1—2 „	0,204 „
„ $^1/_2$—1 „	1,266 „
„ $^1/_4$—$^1/_2$ „	12,652 „
„ $<^1/_4$ „	14,730 „
Abschlämmbare Teile	71,148 „
	100,000 %.

Die mechanische Analyse nach der Kühnschen Methode und wohl auch nach den andern wird, obgleich sie neuerdings durch die Mitscherlichschen Untersuchungen, nach denen vermöge der Benetzungswärme des Bodens viel genauere Schlüsse auf seine mechanische Konstitution gezogen werden können, etwas in den Hintergrund gedrängt worden ist, gleichwohl auch künftig nicht ganz entbehrt werden können, da sie wegen ihrer Einfachheit und der Schnelligkeit ihrer Ausführung zu manchen Zwecken sehr wertvoll und praktikabel ist. Auch bei vorliegender Untersuchung lieferte sie mir gute Anhaltspunkte.

Die chemische Analyse der einzelnen Bodentypen beschränkt sich auf die 4 hauptsächlichsten, weil am ehesten des Ersatzes bedürftigen Nährstoffe:

N, P_2O_5, K_2O und CaO. Zur Anwendung gelangte die verkürzte Wohltmannsche Methode, also die Bestimmung der einzelnen Mineralstoffverbindungen aus einem 48stündigen, kalten, salzsauren Bodenauszug.

Die Stickstoffbestimmungen erfolgten nach der allgemein üblichen Methode von Kjeldahl.

Schon bei den früher von Dr. Hoffmann ausgeführten Untersuchungen der Böden des landw. Versuchsfeldes machten sich Schwierigkeiten betreffs der Eisenabscheidung namentlich bei der Kalkbestimmung geltend.[1])

Auch bei meinen Analysen trat dieser Übelstand ein, und zwar nicht bloss bei der Kalkbestimmung, sondern auch bei der Phosphorsäurebestimmung schienen noch, wenngleich minimale Einschlüsse von Eisen in dem Niederschlag der pyrophosphorsauren Magnesia vorhanden zu sein, so dass die Wägung bisweilen ein kleines Zuviel der betreffenden Substanz ergeben haben mag. Da jedoch zwischen den einzelnen Kontrollanalysen nur Unterschiede bis zu 3 mg gelten gelassen wurden, so wird man gegen die Ergebnisse, welche hier in einer kleinen Tabelle folgen, nichts einzuwenden haben.

No.	Bodenart:	N %	PO_5 %	K_2O %	CaO %
1	Die oberste Schicht 45 cm mächtig .	0,2713	0,08	0,088	0,583
2	Die mittlere Schicht 35 cm mächtig	0,0883	0,096	0,061	0,388
3	Der darunter gelagerte Sand . . .	0,0262	0,0083	0,056	0,045

Der reiche N-Gehalt der Ackerkrume mag nicht zum mindesten eine Folge der 2jährigen Rotkleekultur sein. Auch Kalk ist sehr reichlich vorhanden, während Kali und P_2O_5 nur mässig vertreten sind.

Bei den im Jahre 1897 von Dr. Hoffmann ausgeführten zahlreichen Analysen ergab sich für die Böden des Versuchsfeldes nur ein relativ geringer Gehalt an CO_2; infolgedessen spricht Herr Professor von Rümker die wohl begründete Vermutung aus: „dass der an sich reichlich vorhandene Kalk nur zum geringen Teil an CO_2 gebunden sei, zum anderen Teil an Humussäuren, zumal da jedenfalls noch ein beträchtlicher Teil Mg an die wenige CO_2 gebunden sei. Daraus wäre zu schliessen, dass der vorhandene CaO nur zum kleinen Teil in den Pflanzen leicht zugänglicher und die physikalische Bodenbeschaffenheit günstig beeinflussender Form vorhanden sei“.[2])

Erläuternde Bemerkungen über Gehalt und Löslichkeitsgrad der Nährstoffe im Untergrunde folgen weiter unten.

Im grossen und ganzen kann jedenfalls die Tatsache konstatiert werden, dass die Beschaffenheit des Bodens auf sämtlichen Parzellen eine absolut gleichartige war, wenigstens was die mechanische Zusammensetzung anlangt, die chemische nach dem Augenschein zu beurteilen, ist ja nicht angängig. Nur die Mächtigkeit der einzelnen Schichten mochte innerhalb gewisser, aber enger Grenzen schwanken, und vielleicht hier und da der Sand ein wenig eher zutage treten als an einer anderen Stelle.

[1]) Mitteilungen der landw. Institute 1900, Heft 3, S. 1—28.

[2]) Mitteilungen 1900, Heft 3, S. 1—28.

Eine Beeinträchtigung der Versuchsergebnisse durch Verschiedenartigkeit der Bodenqualität ist also so gut wie ausgeschlossen.

Das gesammelte Zahlenmaterial wurde in folgende Tabellen geordnet:

Tabelle I. Entwickelungsstadium: Bestockung.

Datum der Untersuchung	Parzelle No.	Anzahl der Pflanzen	Anzahl der Halme	Länge der Halme cm	Zahl der Wurzeln bei 32 cm Tiefe	Gewicht der lufttrockenen Halme g	Gewicht der Wurzeln bis zu 32 cm Tiefe g	Verhältnis des Gewichtes der oberirdischen zu dem der unterirdischen Teile = 1:	Wurzelmasse pro Pflanze	Wurzelmasse pro Halme
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				a) Chevaliergerste.						
16. Mai	1	6	28	26	19	2,477	0,45	0,181	0,075	0,016
16. „	2	6	40	30	20	2,762	0,677	0,242	0,112	0,016
16. „	3	6	33	29	24	2,423	0,475	0,196	0,079	0,014
16. „	4	6	27	29	14	2,288	0,548	0,239	0,091	0,020
	Mittel	6	32	28,5	19,2	2,487	0,537	0,216	0,089	0,017
				b) Mandschureigerste.						
16. Mai	1	6	24	26	16	1,539	0,597	0,388	0,099	0,022
16. „	2	6	19	21	6	1,182	0,498	0,421	0,083	0,026
16. „	3	6	24	22	7	0,91	0,445	0,489	0,077	0,020
16. „	4	6	?	?	7	1,58	0,413	0,261	0,069	?
	Mittel	6	22,3	23	9	1,303	0,488	0,389	0,081	0,022
				c) Beseler Hafer No. 2.						
17. Mai	1	6	25	29	8	2,025	0,64	0,326	0,10	0,025
17. „	2	6	19	?	6	1,105	0,505	0,457	0,084	0,027
17. „	3	6	28	33	7	2,09	0,526	0,251	0,087	0,018
17. „	4	6	23	?	9	2,203	0,56	0,259	0,091	0,020
	Mittel	6	23,7	31	7,5	1,855	0,558	0,321	0,092	0,023
				d) Leutewitzer Hafer.						
17. Mai	1	6	24	29	10	1,02	0,448	0,439	0,074	0,018
17. „	2	6	19	30	6	1,598	0,515	0,310	0,086	0,027
17. „	3	6	20	32	6	1,735	0,49	0,282	0,081	0,024
17. „	4	6	18	25	?	1,357	0,554	0,408	0,091	0,030
	Mittel	6	20,2	29	7,3	1,427	0,501	0,359	0,082	0,024
				e) Lupitzer Sandweizen.						
18. Mai	1	6	26	24	7	1,05	0,668	0,636	0,106	0,024
18. „	2	6	23	23	7	0,965	0,549	0,569	0,094	0,024
18. „	3	6	27	20	5	0,705	0,585	0,829	0,134	0,021
18. „	4	6	27	22	5	1,405	0,725	0,516	0,086	0,026
	Mittel	6	25,7	22,2	6	1,031	0,632	0,637	0,105	0,024
				f) Noë-Weizen.						
18. Mai	1	6	17	21	2	0,853	0,357	0,418	0,059	0,021
18. „	2	6	17	21	4	0,685	0,378	0,552	0,063	0,022
18. „	3	6	26	25	6	1,495	0,665	0,444	0,110	0,025
18. „	4	6	20	21	5	0,69	0,355	0,514	0,059	0,017
	Mittel	6	20	22	4,2	0,931	0,439	0,482	0,073	0,022

Tabelle II. Entwickelungsstadium: Schossen.

Datum	Parzelle No.	Anzahl der Pflanzen	Anzahl der Halme	Länge der Halme cm	Zahl der Wurzeln bei 50 cm Tiefe	Zahl der Wurzeln bei 75 cm Tiefe	Zahl der Wurzeln bei 100 cm Tiefe	Gewicht der oberirdischen Teile g	Gewicht d. Wurzeln bis zu 25 cm g	25—50 cm g	Sa. 50 cm g	Verhältnis des Gewichtes der oberirdischen zu dem der unterirdischen Teile = 1:	Wurzelmasse pro Pflanze	Wurzelmasse pro Halme
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a) Chevaliergerste.														
17. Juni	1	6	21	90	38	23	—	30	?	?	2,322	0,0774	0,387	0,110
17. „	2	6	25	90	60	28	—	33,4	2,115	0,6	2,715	0,081	0,452	0,108
17. „	3	6	27	85	<90	36	7	30,5	2,285	0,48	2,765	0,090	0,461	0,102
17. „	4	6	27	85	49	64	—	34,5	?	?	?	?	—	—
Mittel	6	25	87,5	59,2	37,7	—	32,1	2.20	0,54	2,600	0,082	0.433	0,107	
b) Mandschureigerste.														
17. Juni	1	6	16	78	80	32	—	20,7	—	—	1,931	0,0932	0,321	0,120
17. „	2	6	18	80	70	26	—	23,4	—	—	2,62	0,112	0,436	0,145
17. „	3	6	18	80	67	27	8	26,2	2,092	0,227	2,319	0,089	0,386	0,128
17. „	4	6	18	80	70	51	—	23,4	1,451	0,3	1,751	0,075	0,292	0,097
Mittel	6	17,5	79,5	71,8	34	—	23,4	1,771	0.263	2,155	0,092	0.359	0,122	
c) Beseler Hafer No. 2.														
18. Juni	1	6	15	90	32	6	?	37,2	3,739	0,334	4,073	0,109	0,678	0,271
18. „	2	6	13	90	28	18	?	31,4	3,632	0,545	4,177	0,133	0,696	0,321
18. „	3	6	10	90	42	22	?	30,7	3,000	0,365	3,365	0,109	0,561	0,336
18. „	4	6	11	100	28	17	?	38,9	3,564	0,44	4,004	0,103	0,667	0,364
Mittel	6	12,2	92,2	32,2	15,7	—	34,5	3.484	0,421	3,904	0.113	0.650	0.323	
d) Leutewitzer Hafer.														
18. Juni	1	6	16	90	50	19	—	32,9	2,535	0,475	3,010	0,091	0,501	0,188
18. „	2	6	14	100	38	21	—	30,2	2,74	0,617	3,357	0,111	0,559	0,239
18. „	3	6	19	90	<60	28	?23	31,8	2,55	0,357	2,907	0,091	0,484	0,153
18. „	4	6	16	100	52	23	—	35,7	2,698	0,614	3,312	0,092	0,552	0,207
Mittel	6	16,2	95	50	22,7	—	32.6	2,631	0,516	3,146	0,098	0.524	0,196	
e) Lupitzer Sandweizen.														
19. Juni	1	6	16	75	32	9	—	17,4	1,855	0,352	2,207	0,126	0,367	0,138
19. „	2	6	16	75	50	19	—	34,7	1,965	0,195	2,160	0,062	0,360	0,135
19. „	3	6	21	75	41	41	—	17,1	1,79	0,25	2,04	0,119	0,340	0,097
19. „	4	6	22	75	32	25	—	27	2,07	0,19	2,26	0,084	0,376	0,102
Mittel	6	18,7	75	38,7	23,5	—	24,05	1,92	0,247	2,166	0.098	0,360	0,118	
f) Noë-Weizen.														
19. Juni	1	6	16	80	<70	35	—	27,9	1,49	0,339	1,829	0,065	0,304	0,114
19. „	2	6	18	75	58	34	—	28,2	1,605	0,242	1,847	0,065	0,307	0,102
19. „	3	6	20	85	60	32	8	35	1,305	0,292	1,597	0,046	0,266	0,079
19. „	4	6	19	85	60	25	—	29,5	1,77	0,300	2,07	0,070	0,345	0,109
Mittel	6	18.2	81,2	62	31,5	—	30,15	1.542	0,293	1,835	0,061	0,306	0,101	

Tabelle III. Entwickelungsstadium: Reife.

Datum	Parzelle No.	Anzahl der Pflanzen	Anzahl der Halme	Länge der Halme cm	Zahl der Wurzeln bei 50 cm Tiefe	Zahl der Wurzeln bei 75 cm Tiefe	Zahl der Wurzeln bei 100 cm Tiefe	Gewicht der oberirdischen Teile g	Gewicht d. Wurzeln bis zu 25 cm g	Gewicht d. Wurzeln bis zu 25—50 cm g	Gewicht d. Wurzeln bis zu Sa. 50 cm g	Verhältnis des Gewichtes der oberirdischen zu dem der unterirdischen Teile = 1:	Wurzelmasse pro Pflanze	Wurzelmasse pro Halm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
a) Chevaliergerste.														
3. August	1	6	25	100	100?	38	9	60	1,277	0,278	1,555	0,026	0,259	0,062
3. „	2	6	20	100	80	34	6	51	?	?	—	—	—	—
3. „	3	6	20	105	80	22	4	48	1,363	0,225	1,588	0,033	0,264	0,079
3. „	4	6	28	95	80	34	7	56	1,235	0,36	1,595	0,028	0,265	0,057
Mittel		6	23,2	100	85	32	6,5	54	1,292	0,288	1,579	0,029	0,263	0,068
b) Mandschureigerste.														
4. August	1	6	18	100	54	19	4	58	1,3	0,457	1,757	0,030	0,292	0,097
4. „	2	6	15	105	75	20	10	46	1,27	0,393	1,663	0,036	0,277	0,110
4. „	3	6	20	110	45	27	4	63	1,56	0,532	0,092	0,033	0,348	0,104
4. „	4	6	15	95	45	15	1	50	0,935	0,285	1,220	0,024	0,203	0,081
Mittel		6	17	102,5	54,7	20,2	4,7	54,2	1,266	0,417	1,684	0,031	0,280	0,098
c) Beseler Hafer No. 2.														
6. August	1	6	14	125	52	12	?	65	2,28	0,455	2,735	0,042	0,455	0,195
6. „	2	6	13	125	70	19	2	48	2,46	0,297	2,757	0,057	0,459	0,212
6. „	3	6	10	120	55	21	2	43	2,687	0,247	2,934	0,068	0,489	0,293
6. „	4	6	10	130	?	19	4	57	2,207	0,36	2,567	0,045	0,427	0,256
Mittel		6	11,7	125	59	17,7	2,7	53,2	2,408	0,339	2,748	0,053	0,458	0,239
d) Leutewitzer Hafer.														
6. August	1	6	12	125	70	30	16	46	2,018	0,302	2,330	0,050	0,388	0,194
6. „	2	6	15	130	70	26	14	58	2,007	0,347	2,354	0,040	0,392	0,157
6. „	3	6	15	135	80	30	4	60	2,267	0,445	2,712	0,045	0,452	0,180
6. „	4	6	?	125	?	30	3	49	1,95	0,415	2,365	0,048	0,392	?
Mittel		6	14	128,7	73,3	29	9,2	53,2	2,060	0,377	2,440	0,046	0,406	0,177
e) Lupitzer Sandweizen.														
7. August	1	6	17	115	70	16	0	67	2,71	0,381	3,091	0,046	0,515	0,181
7. „	2	6	18	125	80	32	2	45	2,035	0,407	2,442	0,054	0,407	0,135
7. „	3	6	26	120	60	22	14	72	2,19	0,227	2,417	0,033	0,403	0,093
7. „	4	6	18	125	45	22	14	50	1,925	0,248	2,173	0,043	0,390	0,120
Mittel		6	19,7	121,2	63,7	23	7,5	58,5	2,215	0,315	2,531	0,044	0,429	0,132
f) Noë-Weizen.														
19. August	1	6	20	125	88	55	9	54	1,725	0,365	2,090	0,039	0,348	0,104
19. „	2	6	18	125	80	47	15	52	1,835	0,26	2,095	0,040	0,344	0,115
19. „	3	6	19	125	90?	34	18	60	1,55	0,345	1,895	0,031	0,316	0,099
19. „	4	6	17	125	95	32	5	57	1,38	0,355	1,735	0,030	0,289	0,102
Mittel		6	18,5	125	88,2?	42	11,7	55,7	1,622	0,331	1,954	0,035	0,325	0,105

Die Resultate des Versuches I.

Diese vor der Hand noch der Übersichtlichkeit ermangelnden Zahlenreihen sollen zunächst ein Prüfstein sein für die Brauchbarkeit der Versuchsergebnisse; wir wollen daher prüfen, ob die jedesmal berechnete Mittelzahl ohne Bedenken als Grundlage zu weiteren Beobachtungen dienen kann oder nicht.

Da gleiche Organe verschiedener, obgleich einer Art angehöriger Pflanzenindividuen natürlicherweise in den allermeisten Fällen in ihrer äusseren Gestaltung, sowie in der ganzen Massenentwickelung verschiedene Ausbildung erfahren, so machen sich selbstverständlich auch ohne den geringsten Versuchsfehler bei vergleichenden Feststellungen von vornherein Differenzen geltend. Dass trotzdem aber die Eigentümlichkeit des Arten- bezw. Rassencharakters den spezifischen Bildungstrieb des einzelnen Individuums überwiegt, tritt nahezu überall zweifellos hervor. So schwanken z. B. bei Tabelle II die Anzahl der Halme von 6 Pflanzen zwischen 21 und 27, bezw. 16 und 18 bei den Gersten, bei den Hafersorten zwischen 10 bis 15 und 14 bis 19, bezw. zwischen 16 bis 22 beim Weizen. Zwischen den einer Rasse angehörigen Individuen beträgt die grösste Differenz also 6, die Extreme zwischen den einzelnen Gattungen dagegen liegen bei 11 und 27. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei Tabellen I und III.

Die nächste Kolonne (5) der Tabellen enthält Zahlen von relativ geringer Bedeutung. Sie geben das Maximum der Halmlängen an und weichen nur unbedeutend voneinander ab.

Was die Zählungen der Wurzelfasern anlangt (s. Spalten 6—8 der Tabellen), so kann ihnen keine unbedingte Zuverlässigkeit zuerkannt werden.

Erstens nämlich sind die Zählungen bei 25 cm Tiefe unterblieben, weil wegen der grossen Zahl von Fasern daselbst, die in dem dunkeln Boden oft sehr undeutlich zu sehen waren, leicht Irrtümer hätten vorkommen können. Zweitens sind auch bei grösseren Tiefen, bei 50, 75 cm etc. die Zahlen öfter nur in runden Summen angegeben; denn eine genaue Zählung der oft sehr ungleich verteilten, sich gegenseitig umschlingenden und netzartig miteinander verwachsenen feinsten Fäserchen war auch da nicht immer recht durchführbar.

Gleichwohl sind die bisweilen ganz erheblichen Schwankungen der 4 Parallelbestimmungen in der Hauptsache eine Folge der natürlichen Ausbildung des Wurzelsystems, und wenn es auch sehr gewagt erscheinen mag, das aus 4 parallelen Angaben, die, wie z. B. in Tabelle IIa 6 und 7, selbst nicht die Zahl 90 bezw. 64 übersteigend, untereinander um 52 und 41 variieren, berechnete Mittel als Basis für irgendwelche Schlussfolgerung benutzen zu wollen, so bleibt dennoch vor der Hand weiter nichts übrig, als es zu tun, was man mir hoffentlich zugestehen wird, wenn ich hinzufüge, dass das endgültige Urteil über die Tauglichkeit oder Untauglichkeit dieser Zahlen erst weiter unten gefällt werden wird.

Die Angaben über die Gewichte der oberirdischen Masse werden, weil Irrtümer dabei kaum möglich sind und sie auch mit wenigen Ausnahmen gute Übereinstimmung zeigen, wohl nicht angezweifelt werden können.

Die Besorgnis, dass die Gewichtsbestimmungen der Wurzelmassen, weil, ganz abgesehen von natürlichen Divergenzen, mit unvermeidlichen Verlusten verbunden, grosse Schwankungen aufweisen und deshalb wertlos sein würden, erwies sich zu meiner Genugtuung als grundlos. Denn gerade bei ihnen herrscht eine vielfach, man kann sagen überraschende Übereinstimmung.

So weisen die bezüglichen Zahlen von Tabelle I, wo sie ja an sich nur Bruchteile von Ganzen sind, in einem einzigen Falle ein Zuviel von 0,3 g auf, das sich aber durch ein entsprechendes Mehr an oberirdischer Substanz annähernd ausgleicht, in zwei Fällen ein solches von 0,2, im übrigen nur einen Unterschied von 0,1 g; in der Regel beschränkt sich die Differenz jedoch auf die 2. Dezimalstelle.

Die entsprechenden Zahlen der Tabellen II und III, wo sie selbst 2—4 betragen, differieren gewöhnlich um 0,3—0,4 g.

Von im ganzen 48 Bestimmungen stellen sich die extremsten Unterschiede unter den 4 Kontrollbestimmungen zweimal auf 0,9 und zweimal auf 0,8 g. Diese wenigen Abweichungen vermögen aber der Brauchbarkeit der an sich oft genug noch auf die 1. Dezimalstelle übereinstimmenden Zahlen weiter keinen Abbruch zu tun.

Die letzten 3 Spalten sämtlicher Tabellen enthalten aus den vorhergehenden Feststellungen resultierende Zahlenreihen. Lässt man jene gelten, so wird man auch gegen die Gültigkeit dieser nichts einzuwenden haben. Sie sind das Resultat von Berechnungen aus den Gewichten der oberirdischen Massen; da erstere aber mehr schwanken als letztere, so treten in diesen Zahlenreihen natürlich auch grössere Differenzen auf als in den Kolonnen 8 bezw. 12, wo die Gewichte der Wurzelmassen angegeben sind.

Der Nachweis, dass die gewonnenen Resultate im allgemeinen brauchbar sind, ist hiermit erbracht; nur haben wir nach einer übersichtlichen Zusammenstellung der Mittelzahlen die Konsequenzen daraus zu ziehen.

(Siehe Tabelle Seite 46.)

Aus diesen tabellarisch geordneten Zahlen lässt sich zunächst die interessante Tatsache ersehen, dass sämtliche 6 Getreidesorten ihre Wurzeln auf einem Boden, dessen Härte, Bindigkeit und Neigung zum Verkrusten ich schon oben klar gelegt habe, auf einem Boden mit lettigem Untergrunde (70 % abschlämmbare Teile) mehr als metertief eindringen lassen. Tiefer wie 1 m nachzubohren, wurde oft versucht, gelang aber leider nur selten; denn in der Regel bestand der Boden schon bei 75 cm Tiefe aus eisenschüssigem Sand, der bei 100 cm in reinen weissen Sand überging.

Die aus solchem Bodenmaterial bestehende Schicht von 100—125 cm Tiefe blieb nur selten im Eisenzylinder haften, gewöhnlich rutschte die lose Masse beim Umlegen und Hochheben des Apparates sofort wieder heraus.

In den wenigen Fällen, wo die Manipulation gelang, konnte ich nur einige, 2—4, höchstens 5 Fäserchen auf dem unteren Querschnitt zählen.

Tabelle IV. Zusammenstellung der Mittelzahlen von Tabellen I—III.

Frucht	Datum und Entwickelungsstadium	Anzahl der Pflanzen	Anzahl der Halme	Länge der Halme cm	Zahl der Wurzeln bei 32 bezw. 50 cm	Zahl der Wurzeln bei 75 cm	Zahl der Wurzeln bei 100 cm	Gewicht der oberirdischen Teile g	Gewicht der Wurzeln bis zu 25 cm g	Gewicht der Wurzeln von 25 bis 50 cm g	Gewicht der Wurzeln bis zu 50 bezw. 32 cm g	Verhältnis des Gewichtes der oberirdischen zu dem der unterirdischen Teile = 1 :	Wurzelmasse pro Pflanze	Wurzelmasse pro Halm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Bestockung				32 cm						32 cm			
Chev.-G. . .	16. Mai	6	32	28,5	19,2	—	—	2,487	—	—	0,537	0,216	0,089	0,017
Mand.-G. . .	16. „	6	22,3	23	9	—	—	1,303	—	—	0,488	0,389	0,081	0,022
Bes. H. . . .	17. „	6	23,7	31	7,5	—	—	1,855	—	—	0,558	0,321	0,092	0,023
Leut. H. . .	17. „	6	20,2	29	7,3	—	—	1,427	—	—	0,501	0,359	0,082	0,024
Lup. S.-W. .	18. „	6	25,7	22,2	6	—	—	1,031	—	—	0,632	0,637	0,105	0,024
Noë-W. . . .	18. „	6	20	22	4,2	—	—	0,931	—	—	0,439	0,482	0,073	0,022
	Schossen				50 cm						50 cm			
Chev.-G. . .	17. Juni	6	25	87,5	59,2	37,7		32,1	2,20	0,54	2,600	0,082	0,433	0,107
Mand.-G. . .	17. „	6	17,5	79,5	71,8	34		23,4	1,771	0,263	2,155	0,092	0,359	0,122
Bes. H. . . .	18. „	6	12,2	92,2	32,2	15,7		34,5	3,484	0,421	3,904	0,113	0,650	0,32
Leut. H. . .	18. „	6	16,2	95	50	22,7		32,6	2,631	0,516	3,146	0,098	0,524	0,196
Lup. S.-W. .	19. „	6	18,7	75	38,7	23,5	—	24,05	1,92	0,247	2,166	0,098	0,36	0,118
Noë-W. . . .	19. „	6	18,2	81,2	62	31,5	—	30,15	1,542	0,293	1,835	0,061	0,306	0,101
Chev.-G. . .	3. Aug.	6	23,2	100	85	32	6,5	54	1,292	0,288	1,579	0,029	0,263	0,068
Mand.-G. . .	4. „	6	17	102,5	54,7	20,2	4,7	54,2	1,266	0,417	1,684	0,031	0,280	0,098
Bes. H. . . .	5. „	6	11,7	125	59	17,7	2,7	53,2	2,408	0,339	2,748	0,053	0,458	0,239
Leut. H. . .	6 „	6	14	128,7	73,3	29	9,2	53,2	2,060	0,337	2,440	0,046	0,406	0,177
Lup. S.-W. .	7. „	6	19,7	121,2	63,7	23	7,5	58,5	2,215	0,315	2,531	0,044	0,429	0,132
Noë-W. . . .	19. „	6	18,5	125	88,2	42	11,7	55,7	1,622	0,331	1,954	0,035	0,325	0,105

Erklärung der Abkürzungen:
Chev.-G. = Chevaliergerste, Mand.-G. = Mandschureigerste, Bes. H. = Beseler Hafer, Leut. H. = Leutewitzer Hafer, Lup. S.-W. = Lupitzer Sandweizen, Noë-W. = Noë-Weizen.

Es drängt sich uns nun die Frage auf, inwiefern in vorliegendem Falle das Tiefenwachstum der Getreidewurzeln von Regenwurm- und alten Wurzelbahnen beeinflusst worden ist. Es kann kein Zweifel darüber herrschen, dass eine gewisse Begünstigung desselben durch beide Momente stattgefunden hat. Vielfach hatte ich Gelegenheit zu beobachten, wie in der Lettenschicht des Untergrundes 2—3 Fasern zugleich in Regenwurmröhren hinabgewachsen waren, und selbst die berühmte Schultz-Lupitzsche Beobachtung, dass Getreidewurzeln den von Leguminosenwurzeln gebahnten Wegen bei geeigneter Fruchtfolge zu folgen pflegen, konnte ich bisweilen machen. In manchen Bohrkernen aus dem Untergrunde ragte zugleich mit einer alten Kleewurzelfaser, die sich durch ihre intensiv dunkle Färbung als solche dokumentierte, hier und da ein zartes weisses Getreidewurzelfäserchen hervor. Dass also auch hier die Getreidewurzel sich alte Wege zunutze gemacht hat, kann nicht bezweifelt werden. Für die Wahrscheinlichkeit aber, dass sie, selbst in dem lettigen Untergrunde dieser

Böden, bisweilen vermöge eigener Kraft zum Tiefgang befähigt ist, sprechen meine anderweitigen, später noch zu erörternden Befunde, auf welche an dieser Stelle nur verwiesen werden kann (s. S. 60—62).

Findet nun eine Aufnahme der im Untergrunde absorbierten Nährstoffe durch die Wurzel statt?

Durch eine mikroskopische Untersuchung konstatierte ich, dass die Stärke der Behaarung der Untergrundwurzeln nicht geringer war, als derjenigen aus der Krume. Auch die Bodenanalyse weist, wie wir oben sahen, nicht ganz unbeträchtliche Nährstoffmengen im Untergrunde nach. Die unterste, nährstoffarme Sandschicht ganz unberücksichtigt gelassen, enthält die Letteschicht 0,088% N, 0,096% P_2O_5, 0,061% K_2O, 0,388% CaO. Der Löslichkeitsgrad dieser Stoffe freilich mag kein sehr hoher sein.

Die Phosphorsäure ist hier zweifellos sehr fest an Eisen, Tonerde und Kalk gebunden, das Kali dürfte den Pflanzen ebenfalls sehr schwer zugänglich sein und auch der N nur wenig für die Nährstoffaufnahme in Betracht kommen, selbst wenn er, wie dies bei dem äusserst geringen Humusgehalt des Untergrundes wahrscheinlich, grösstenteils als NH_3 auftritt. Denn eine Nitrifikation des Ammoniaks zu Salpetersäure ist bei den schlechten physikalischen Eigenschaften des Untergrundes so gut wie ausgeschlossen und somit auch eine N-Aufnahme daselbst sehr fraglich oder doch wenigstens nur unbedeutend. Es bleibt noch Kalk übrig; aber wenn dieser auch teilweise an Kohlensäure gebunden sein mag, so ist doch zu erwägen, dass seine Stelle als direkter Pflanzennährstoff weit hinter jener als indirekter zurücktritt, und da er als solcher bei dem geringen Luftzutritt zum Untergrunde gleichwohl nicht in Funktion treten kann, so wird auch seine Bedeutung für die Pflanzenernährung nicht hoch zu veranschlagen sein.

Dass die Untergrundwurzeln in der Regel trotz reichlicher Haarbildung frei von Erdteilchen waren und nur die jüngeren, in fortwährender Bildung begriffenen Adventivwurzeln in den oberen Schichten in jenen typischen Erdhöschen steckten, kann die bisher geäusserten Ansichten nur bestätigen. Dazu kommt noch, dass die Wurzelmasse von 25—50 cm Tiefe — wie obige Tabelle zeigt — in der Periode des Schossens, wo die Stoffproduktion doch am grössten ist, nur ca. $^1/_5$—$^1/_6$ derjenigen von der Oberfläche bis zu 25 cm Tiefe beträgt, und man den Schluss ziehen kann, dass die Wurzelmasse von 50—75 cm, also im dritten Bohrkern, wiederum nur halb so gross ist wie die im zweiten; denn die Menge der Wurzelfasern im dritten Bohrkern ist allgemein nur ungefähr halb so gross wie die im zweiten, — dass also in der Bodenschicht von 50—75 cm, die ja in der Hauptsache aus Lette besteht, nur $^1/_{10}$—$^1/_{12}$ so viel Wurzelmasse sich befindet, wie in der obersten Bodenlage bis zu 25 cm Tiefe.

Nach allen Erwägungen der Für und Wider kann das Resümee dieser Betrachtung kaum anders lauten als so:

Die Pflanzen bezogen die nötigen Mineralstoffe im vorliegendem Falle in der Hauptsache aus den oberen Bodenschichten. Eine Assimilation der Nährstoffe im Untergrunde kann vielleicht noch teilweise bis zu 45 cm,

wo die hinreichend charakterisierte Letteschicht einsetzt, stattgefunden haben. Die noch tiefer eindringende, nicht ganz unbeträchtliche Wurzelmasse hat lediglich zur Wasserversorgung und zur Aufnahme der in ihm gelösten Salze, wie etwa der in Auswaschung begriffenen Nitrate und Karbonate gedient, freilich eine Funktion, die der Pflanze in trocknen Witterungsperioden sehr zu statten kommen mag.

Weiterhin haben wir nun die Frage zu erörtern, ob die gefundenen Zahlen Unterschiede im Bewurzelungsvermögen der Gattungen und Sorten erkennen lassen.

Was zunächst die Wurzelzählungen anbetrifft, so betonten wir schon oben, dass in dieser Hinsicht keine recht brauchbaren Resultate erzielt wurden. Die Zahl der Wurzelfasern bei 32, 50, 75 und 100 cm Tiefe und einer Fläche von 400 qcm beweisen in der Tat auch keine spezifischen Unterschiede im Bewurzelungsvermögen von Gerste, Hafer und Weizen. Die Überlegenheit der einen über die andere Gattung, welche bei den jungen Pflanzen sich bemerkbar machte, ist in späteren Entwickelungsstadien fast regelmässig wieder verschwunden.

Bei einem Versuch, unter Ausserachtlassung des Gattungscharakters nur die Sorten miteinander zu vergleichen, können wir hier und da eher eine gewisse Konstanz beobachten. Von den 7 Durchschnittszahlen, die im ganzen berechnet wurden, ist die des Noë-Weizens viermal und die der Chevaliergerste dreimal bedeutend höher als jene der übrigen Sorten; der Beselersche Hafer dagegen hat fünfmal die kleinste Durchschnittszahl. Den übrigen Sorten kann eine bestimmte Stellung nicht angewiesen werden, denn das Übergewicht liegt in dem einen Entwickelungsstadium bei dieser, in dem andern bei jener.

Hiermit haben wir also sehr wenig Positives erreicht. Wir sehen jedenfalls daraus, dass man z. B. dem Hafer nicht schlechthin ein grösseres oder geringeres Vermögen in der Bildung von Faserwurzeln zuerkennen darf, als dem Weizen oder der Gerste; sondern die eine Hafersorte, der Leutewitzer, hatte öfter mehr Wurzelfasern als der Lupitzer Sandweizen und öfter weniger als der Noë.

Es wäre also verfehlt, aus den Zählungen ohne weiteres Schlüsse auf das Wurzelvermögen der Sorten ziehen zu wollen.

Unterziehen wir nun die Wurzelgewichte einer Betrachtung.

In der 1. Periode rückt zunächst nur der Lupitzer Sandweizen sowohl an absolutem, wie an relativem Gewicht, d. h. an Wurzelgewicht, verglichen mit dem der oberirdischen Teile, bei weitem an 1. Stelle (0,6 gegen 0,5 und 0,4 und 0,6 gegen 0,4, 0,3 und 0,2). An 2. kommt der Beselersche Hafer mit einer wenn auch nur unbedeutenden Überlegenheit. Die übrigen Sorten unterscheiden sich noch nicht scharf.

In der 2. und 3. Periode dagegen übernimmt der Beselersche Hafer bezüglich des absoluten wie relativen Gewichts bei weitem die Führung. Ihm folgen fast regelmässig der Leutewitzer Hafer und der Lupitzer Sandweizen, welche nur je einmal an absolutem Gewicht von der Chevaliergerste ein wenig übertroffen werden.

Es schliessen sich die übrigen Sorten in weniger regelmässiger Reihenfolge an; an letzter Stelle aber kommt von je 3 Bestimmungen zweimal bezüglich des relativen und einmal bezüglich des absoluten Gewichtes die Chevaliergerste, während der Noëweizen die übrig bleibenden 3 letzten Stellen jedesmal für sich in Anspruch nimmt.

Wir stehen hier vor einer sonderbaren Tatsache. Die 2 Sorten, welche fast regelmässig die grösste Zahl von Wurzelfasern besassen, teilen sich untereinander in die letzten Plätze, wenn man alle nach den Wurzelgewichten rangiert. Ebenso ergeben sich bei der Sorte mit der fast durchweg geringsten Zahl an Fasern, dem Beselerschen Hafer, die höchsten Wurzelgewichte. Wie ist dieses merkwürdige Verhalten zu erklären?

Die naheliegende Annahme, dass bei den Wurzelauswaschungen bei den Sorten mit geringerem Gewicht weit grössere Verluste eingetreten sind, als bei den anderen, ist ohne weiteres von der Hand zu weisen. Oben zeigten wir mit aller Gründlichkeit an der Hand der eine deutliche Sprache sprechenden Zahlen, dass trotz unvermeidlicher Verluste ein Einwand gegen die Wurzelgewichtsbestimmungen nicht erhoben werden kann. Durch ungenaues Arbeiten beim Bestimmen der Wurzelgewichte kann der Gegensatz zwischen Zahl und Gewicht also unmöglich entstanden sein. Wir müssen den Grund dafür wo anders suchen. Vielleicht liegt er auch gar nicht so weit. Denn die Tatsachen, die höheren Gewichte dort und die grösseren Zahlen hier erbringen doch mit grosser Deutlichkeit den Beweis, dass da, wo die Gewichte höher waren, die Wurzeln stärker, fester, dicker gewesen sein müssen, und dass da, wo die Zahlen grösser sind, dieselben zahlreicher, feiner und zarter waren und das Wurzelsystem sich stärker verzweigt hat. Wir müssen also wohl den Sorten mit mehr Wurzelfasern grösseres Wurzelvermögen zuerkennen als den anderen; denn indem sie mit mehr Bodenteilchen in Berührung kamen als die anderen, hatten sie doch sicher den grösseren Vorteil bei der Nahrungsaufnahme.

Aber auch diese Schlussfolgerung wäre, glaube ich, übereilt, weil jene Sorten mit stärkeren Wurzelsträngen gleichfalls in mancher Hinsicht im Vorteil waren.

1. Vermögen sie Widerstände im Boden leichter zu überwinden als die anderen.
2. Hat an den dickeren Wurzeln eine weit grössere Zahl von Haaren Platz, wodurch vielleicht die grössere Oberfläche der anderen annähernd erreicht oder gar überholt wird.
3. Findet in ihnen eine lebhaftere Stoffbewegung und ein regerer Transport der aufgenommenen Nahrung nach oben hin statt.

Und selbst dagegen, dass die vorgenommenen Zählungen überhaupt davon ohne weiteres überzeugen können, dass diese Sorten mehr, jene weniger Wurzeln besassen, lässt sich verschiedenes einwenden. Einmal sind die Zählungen, wie oben bereits betont wurde, nicht ganz genau, sondern ergaben öfter nur Zahlen in runder Summe. Auch schwankten die parallelen Angaben bisweilen so erheblich, dass es bedenklich war, das Mittel daraus zu berechnen. Sodann wurden die Zählungen im 2. und

3. Stadium leider erst von 50 cm Tiefe an vorgenommen, und es ist durchaus nicht bewiesen, dass für die Sorten mit mehr Wurzeln Zählungen in den oberen Bodenschichten ebenfalls eine Überlegenheit über die anderen ergeben hätten. Der Hafer z. B., von dessen Fähigkeit, viele starke und reich behaarte Adventivwurzeln zu bilden, ich mich so oft überzeugen konnte, ist in dieser Hinsicht der Gerste, wie wir mit grosser Sicherheit sagen können, ganz zweifellos überlegen.

Zu alledem kommt noch, dass, wie ein Blick auf die Tabellen zeigt, das Verhältnis der Wurzelgewichte zueinander in allen 3 Stadien der Entwickelung weit konstanter ist als das der Anzahl der Wurzeln: neben den vielen bereits angeführten ein neuer Beweisgrund dafür, dass die Wurzelzählungen allein kein klares Bild über das Bewurzelungsvermögen dieser Getreidesorten zu liefern vermochten. Ich glaube daher nicht, dass man mir den Vorwurf der Voreingenommenheit machen kann, wenn ich den Resultaten der Zählungen nur eine ganz untergeordnete Bedeutung beimesse.

Bei einem Versuch nun, ganz objektiv und ohne Vermutungen und Kombinationen Raum zu geben, die aus den Gewichtsfeststellungen der Wurzeln resultierenden Konsequenzen zu ziehen, ergeben sich folgende Sätze:

1. Der Beselersche Hafer und — im 2. und mit einer Ausnahme auch im 3. Entwickelungsstadium — gleichfalls der Leutewitzer übertreffen an absolutem und relativem Gewicht, sowie an Wurzelgewicht der einzelnen Halme sämtliche übrigen Sorten ganz beträchtlich. — eine Bestätigung der Richtigkeit der Auffassung, dass der Hafer als eine unserer bescheidensten und selbst unter sehr ungünstigen Wachstumsbedingungen noch relativ sichere Erträge liefernden Pflanze diese Befähigung nicht zum mindesten seinem starken Bewurzelungsvermögen zu verdanken hat.

2. Der Weizen ist der Gerste im 1. Stadium an relativem und einmal an absolutem Wurzelgewicht, im letzten an absolutem und relativem Wurzelgewicht überlegen.

Auch zwischen den einzelnen Sorten ergeben sich charakteristische Unterschiede:

Der Beselersche Hafer übertrifft in allen Stadien den Leutewitzer an absolutem, relativem und an Wurzelgewicht in bezug auf den einzelnen Halm.

Das gleiche Verhalten zeigt der Lupitzer Sandweizen im Vergleich mit dem Noë, und zwar im 1. und 3. Entwickelungsstadium in ganz besonders markanter Weise. Bei den Gersten liegen die Verhältnisse annähernd ebenso klar. Die Chevaliergerste nämlich ist ihrer Konkurrentin nur in den 1. beiden Stadien an absolutem Gewicht unbedeutend überlegen. Sonst tritt überall, also namentlich bezüglich des relativen und des Wurzelgewichts des einzelnen Halmes das Übergewicht der Mandschureigerste ganz deutlich in Erscheinung.

Die Untersuchung hat also zu einem positiven Resultate geführt; sie zeigt, dass bei zu einer Gattung gehörigen Sorten sehr wohl Unterschiede im Bewurzelungsvermögen bestehen können, und zwar spricht die Über-

legenheit des Lupitzer Sandweizens über den Noë und die allerdings nur partielle Überlegenheit der Mandschurei- über die Chevaliergerste, sowie die Überlegenheit der Hafersorten über Gerste und Weizen für die Richtigkeit der Auffassung, dass die bescheidenen, weniger ergiebigen Sorten, Arten und Gattungen auch bei so reichen Ernährungsverhältnissen, wie sie ihnen im vorliegendem Fall geboten wurden, mehr Arbeit auf die Entwickelung ihres Wurzelsystems zu verwenden pflegen, als anspruchsvolle und ertragreiche.

Durch die bisherigen Ausführungen ist das, was Tabelle IV bietet, noch nicht erschöpft; wir ersehen vielmehr ferner daraus:

1. Dass die Tiefenerstreckung der Wurzeln im jugendlichen Entwickelungsstadium das Höhenwachstum der oberirdischen Teile an Länge übertrifft. Das gleiche ist für einige Sorten im 2. Stadium und für die Chavaliergerste im 3. Stadium konstatiert, während die andern Sorten daraufhin nicht mehr untersucht wurden.
2. Die schon häufig beobachtete Erscheinung, dass die Pflanze in der Jugend ihre Hauptwachstumsenergie auf die Entwickelung ihres Wurzelsystems verlegt, lässt sich bei vorliegenden Untersuchungen gleichfalls leicht konstatieren. Die oberirdische Masse gleich 1 gesetzt, beträgt das Gewicht der Wurzeln bis zu 50 cm Tiefe — die in noch tieferen Regionen befindliche Wurzelmasse kommt, wie man aus den Wurzelzählungen ersehen kann, quantitativ kaum in Betracht — bei den verschiedenen Sorten 0,2—0,63 zur Zeit der Bestockung, beim Schossen nur noch 0,06—0,1 g, um bei der Reife endlich auf 0,02 bis 0,05 zurückzugehen. Während also, wie eine einfache Division ergibt, bei den einzelnen Sorten die oberirdischen Teile von der Bestockung bis zur Reife sich um das 22—59 fache vermehrt haben, stieg die Produktion der Wurzelmasse nur um das 4—7 fache. Oder, wenn wir die einzelnen Sorten näher ins Auge fassen, so war bei den Gersten die Produktion an oberirdischer Substanz in gleichen Zeiträumen 4,6 und 9,1 mal stärker als die an Wurzelmasse, beim Hafer 4,1 und 6 mal, bei den Weizensorten sogar 14 bezw. 13 mal. Wie man sieht, haben vor allem die Weizensorten während ihrer Jugend Wert auf die Entwickelung ihres Wurzelsystems gelegt, während sie zugleich das Wachstum der oberirdischen Teile vernachlässigten.
3. Bei allen Sorten mit Ausnahme des Weizens sind die Wurzelgewichte zur Zeit der Reife geringer als im 2. Entwickelungsstadium, der Periode des Schossens; natürlicherweise, denn die Wurzel ist zur Zeit der Reife schon seit geraumer Zeit funktionslos und nunmehr bereits in Zersetzung begriffen. Der Zersetzungsprozess kann aber nur in den obersten, den Atmosphärilien leichter zugänglichen Schichten begonnen haben. Denn von 50 cm Tiefe an ist fast bei allen Sorten im Reifestadium eine beträchtlich grössere Zahl von Fäserchen vorhanden als im vorletzten, Beweis genug dafür, dass auch nach dem Schossen noch eine Vermehrung der Wurzelmasse und eine — wie wir aus den Untersuchungen von Liebscher wissen — allerdings nur unbedeutende Stoffaufnahme aus dem Boden stattgefunden hat.

4. Endlich möchte ich an der Hand obiger Zahlen noch einige Bemerkungen über die Bestockung der untersuchten Sorten machen.

In der 1. Periode sind bei allen Sorten mehr Halme vorhanden als in den folgenden beiden Stadien, zweifellos deshalb, weil sich in der Jugend eine Anzahl später zurückbleibender, nicht mehr zur Ährenbildung gelangender oder ganz absterbender Sprosse zu bilden pflegt. Versuchen wir, die Sorten nach ihrem Bestockungsvermögen zu ordnen.

Die Überlegenheit der Gerste über den Hafer tritt überall deutlich hervor. Auch die einzelnen Sorten zeigen in allen Entwickelungsstadien ziemlich konstantes Verhalten. Bei Untersuchungen zu 3 verschiedenen Zeitpunkten auf jedesmal 4 Parzellen à 6 Pflanzen wurde die Bestockung von zusammen 72 Pflanzen für jede Sorte festgestellt. Bei der Berechnung des Mittels dieser 72 Pflanzen ergibt sich für die Chevaliergerste eine Halmzahl von 4,4 pro Pflanze, für den Lupitzer Sandweizen eine solche von 3,5, für den Noë und die Mandschureigerste von je 3,1 Halmen, für den Leutewitzer Hafer von 2,8 und den Beselerschen von 2,6 Halmen pro Pflanze.

Das vorliegende Zahlenmaterial kann, was die Individuenzahl anlangt, wohl als beinahe ausreichend bezeichnet werden. Die Zahl der Sorten musste jedoch auf 6 beschränkt bleiben. Eine Verallgemeinerung des Befundes auf andere Sorten ist deshalb natürlich zu vermeiden. Gleichwohl sehen wir auch hier, dass der Schribauxsche Satz, hohe Ertragsfähigkeit sei eine Folge geringer Bestockungsfähigkeit, welcher ja von Rimpau schon widerlegt worden ist, sehr oft unhaltbar ist; die allgemein als ertragreich bekannte Chevaliergerste nämlich ist der weniger ergiebigen Landgerste an Bestockungsfähigkeit in allen Entwickelungsstadien bedeutend überlegen. Der Noëweizen steht dem aus dem Lupitzer Sande stammenden nur um ein Geringes nach, und die Hafersorten, in der Ertragsfähigkeit vielleicht nicht allzusehr voneinander verschieden, weichen auch in der Bestockungsfähigkeit nur wenig voneinander ab.

Versuch II.

Bewurzelung und Bestockung bei verschiedenem Standraum der Pflanzen.

Die 2. Versuchsreihe enthält einige Beobachtungen über die Bewurzelung und Bestockung von Chevaliergerste bei verschiedenem Standraum der Pflanzen. Die Anlage der 8 Versuchsparzellen wurde S. 33 beschrieben. Den Entwickelungsgang der Versuchspflanzen möge folgende kleine Tabelle erläutern.

(Siehe Tabelle V, Seite 53.)

Bei den Pflanzen auf Parzelle 1—5 ist bereits zur Zeit der 1. Untersuchung, am 29. Mai, das Maximum der Sprossbildung eingetreten. Bei den übrigen beiden aber setzt diese sich noch im Juni und Juli fort, so dass am 23. Juni z. B. auf Parzelle 7 jede Pflanze 22—26 Halme gebildet hat, wo hingegen bei recht engem Standraum, bei 10 qcm pro Pflanze, jedes Individuum nicht mehr als 1,3—1,9 Halme besitzt. Mit diesem Zeitpunkt, also dem 23. Juni, hatten aber auch auf Parzelle 7 die Pflanzen

das Maximum der Bestockung erreicht. Ein Stillstand in der Sprossbildung trat ein und später, als die Reife begann, ein Absterben der grossen Zahl derjenigen Sprosse, welche über die Blattbildung nicht hinausgekommen waren und Halme und Ähren nicht zu produzieren vermocht hatten. Parzelle 8 schied aus den weiteren Untersuchungen aus, weil die Blattlaus sich der ganz einzeln stehenden Pflanzen bemächtigte und eine normale Entwickelung derselben nicht gestattete. Am 10. Juni hatte die produktivste der 8 Pflanzen daselbst 32 Halme, eine 2. 29 Sprosse gebildet, von denen jedoch nur die reichliche Hälfte Ähren trug.

Tabelle V.

Datum	Parzelle No.	Standraum pro Pflanze	Länge der Halme	10 Pflanzen haben Halme			Datum	Länge der Halme	10 Pflanzen haben Halme			Datum	Länge der Halme	10 Pflanzen haben Halme		
		qcm	cm	a	b	c		cm	a	b	c		cm	a	b	c
29. Mai	1	10	40	17	24	18	10. Juni	48—50	19	13	15	23. Juni	75—80	unverändert		
29. „	2	32	35—37	27	34	33	10. „	45—50	27	24	27	23. „	75—80			
29. „	3	50	30	44	48	43	10. „	35—40	36	37	39	23. „	75	23	22	19
29. „	4	105	25—30	60	62	52	10. „	35—40	59	51	60	23. „	75—80	57	39	44
29. „	5	200	25—30	104	90	95	10. „	35	111	105	113	23. „	70	82	86	88
29. „	6	525	20—25	74	75	76	10. „	30—40	137	98	133	23. „	ca. 65	162	68	157
29. „	7	1000	20	55	76	59	10. „	30—40	140	152	167	23. „	50—60	262	220	228
29. „	8	5000	15—20	—	—	—										

Die Längendifferenzen in den Sprossteilen veranschaulicht obige kleine Tabelle ganz deutlich.

Auf Parzelle 8 beträgt die Länge der Pflanzen am 29. Mai halbsoviel als auf Parzelle 1. Auch am 23. Juni ist die Differenz immer noch ca. 20 cm.

Denn infolge stärkerer Belichtung entwickeln sich die weit voneinander entfernt stehenden Pflanzen bekanntlich viel langsamer, die Gewebe werden fester, massiger und widerstandsfähiger, während bei sehr dichtem Stande die Pflanze ein schnelles Wachstum zeigt, ihre Gewebe zarter und dünner, die Zellen langgestreckter entwickelt und ihre ganze Konstitution an die der etiolierten Pflanzen erinnert. Im Reifestadium aber hatte sich zwischen den Pflanzen der einzelnen Parzellen bezüglich der Länge ein Ausgleich vollzogen.

Am 16. und 17. Juli nahm ich zwecks Feststellung der Bewurzelung auf jeder Parzelle eine Ausgrabung in gleicher Weise vor, wie ich es oben ausführlich beschrieben habe, und konnte danach das gewonnene Zahlenmaterial in folgender Weise ordnen:

(Siehe Tabelle VI, Seite 54.)

Man wird vielleicht die hier mitgeteilten Resultate nicht als einwandfrei gelten lassen wollen, weil für jede Bestimmung nur eine Parzelle zur Verfügung stand, eine Kontrolluntersuchung also nicht stattfinden und ein eventueller Versuchsfehler nicht berücksichtigt werden konnte. Dagegen kann ich mich insofern verwahren, als die Bodenqualität auf dem zu vor-

liegendem Versuch benutzten Stück Feld in der Lagerung, wie ich sie oben beschrieben habe, eine absolut gleichartige war. Nur die Mächtigkeit der feinerdereichen Schicht konnte auch hier bisweilen um einige Zentimeter schwanken, was wohl als für die Entwickelung der Pflanzen irrelevant bezeichnet werden kann.

Tabelle VI.

Parzelle No.	Standraum pro Pflanze qcm	Zahl der Pflanzen bei 400 qcm	Zahl der ährentragenden Halme	Grösste Länge der Halme cm	Zahl der Wurzeln bei 50 cm Tiefe	75 cm Tiefe	100 cm Tiefe	125 cm Tiefe	Gewicht der oberirdischen Teile g	Gewicht der Wurzeln bis 25 cm Tiefe g	von 25 bis 50 cm Tiefe g	bis Summa 50 cm g	Verhältnis des Gewichtes der oberirdischen zu dem der unterirdischen Teile	Wurzelmasse pro Pflanze	pro Halm
1	10	17	32	100	78	56	20	4	45,2	2,386	0,575	2,961	0,065	0,174	0,092
2	32	13	23	96	58	33	13	0	34	2,395	0,47	2,865	0,084	0,226	0,124
3	50	8	22	95	75	23	5	—	38	2,25	0,41	2,66	0,07	0,333	0,121
4	105	6	21	85	49	19	8	—	35	1,812	0,395	2,207	0,063	0,368	0,105
5	200	2	31	100	62	45	20	—	58,7	2,284	0,59	2,874	0,049	1,437	0,092
6	525	1	21	100	70	43	7	—	46,5	1,175	0,394	1,569	0,034	1,569	0,074
7	1000	1	28	100	24	18	12	0	51,5	1,311	0,215	1,526	0,029	1,526	0,054
8	5000	1	11	100	15	7	5	—	—	—	—		—	—	—

Zum Belege dafür möchte ich noch auf die gute Übereinstimmung der hier gewonnenen Wurzelgewichte der Chevaliergerste mit den bei der 1. Versuchsreihe in annähernd gleichem Entwickelungsstadium erhaltenen hinweisen (2,32, 2,71, 2,76 und 2,96, 2,86, 2,66 etc.). Sonst können vielleicht auch hier wieder kleine Irrtümer bei den Zählungen vorgekommen sein; bei den übrigen Zahlen der Tabelle VI sind solche ausgeschlossen. Die interessante Tatsache der sehr viel intensiveren Stoffproduktion des einzelnen Pflanzenindividuums bei grösseren Standräumen im Vergleich mit enger stehenden Pflanzen lässt sich danach in allen Kolonnen der Tabelle fast in regelmässiger Weise konstatieren. Die einzelnstehende Pflanze hat auf 400 qcm Fläche fast ebensoviel Halme produziert, als 17 Pflanzen auf gleicher Fläche, und mehr als 13; das Gewicht von einer Pflanze ist ebenfalls nicht geringer als das von 17 und es schwankt bei den einzelnen Parzellen zwischen 35 und 58 g, und das Maximum liegt bei Parzelle 5, wo auf 200 qcm 2 Pflanzen zu stehen kommen. Jedoch scheinen die Schwankungen nicht eine Folge der verschiedenen Standweite zu sein, sondern in der individuellen Verschiedenheit der miteinander verglichenen Pflanzen zu liegen. Die Wurzelmasse weist bei Parzelle 1—5 nach Zahlen und Gewicht nur sehr geringe Differenzen auf und ist bei 5 nicht geringer als bei Parzelle 2. Auch bei 6 lässt die Zahl der Wurzeln nur unbedeutend nach; das Gewicht wird bei 6 und 7 nicht unbeträchtlich geringer.

Aus diesem Verhalten der Pflanzen können wir mit grosser Sicherheit den Schluss ziehen, dass die Ausnutzung des Bodens bei 200 qcm Standraum pro Pflanze nicht geringer war als bei 10 qcm. Erst bei noch grösseren Standräumen waren die Pflanzen nicht mehr imstande, den Boden mit ihren Wurzeln intensiv auszunützen.

Die Angaben über die auf den einzelnen Halm fallenden Wurzelmassen (s. letzte Spalte von Tabelle VI) weichen, wenn wir von denen über Parzelle 6 und 7 absehen, merkwürdigerweise wiederum nur sehr unbedeutend voneinander ab. Wir müssen daraus folgern, dass, mochten die Pflanzen sehr eng oder sehr weit voneinander entfernt stehen, mochte jede nur 1—2 oder 20—30 Halme besitzen, jeder Halm annähernd gleichviel Wurzelmasse produzierte. Ich glaube nicht fehl zu gehen, wenn ich hierdurch die Korrelation zwischen Spross- und Wurzelwachstum der Pflanzen, die Selbständigkeit jedes einzelnen Halmes bezüglich der Wurzelbildung bestätigt sehe, eine Eigenschaft, welche ja an der äusseren Gestaltung unserer Getreidepflanze schon oft beobachtet worden ist. Dieselbe nun auch durch Gewichtsfeststellungen zu bestätigen, konnte für mich eines gewissen Interesses nicht entbehren.

Durch weitere Beobachtung der nach den Nachbohrungen noch übrigen Pflanzen dieser Versuchsreihe den Einfluss des verschiedenen Standraumes auf die Entwickelung der Pflanzen während der ganzen Vegetationsperiode festzustellen, war sehr naheliegend. Wie bei allen bisherigen Untersuchungen wurden auch hierbei Randpflanzen stets sorgfältig vermieden. Zahlenmässig wurde hierbei folgendes festgestellt:

(Siehe Tabellen VII—IX, Seite 56 und 57.)

Die Verlängerung der Vegetationsdauer durch Zunahme des Standraumes konnte deutlich beobachtet werden. Zur Zeit, als sich die Pflanzen auf den ersten Parzellen bereits der Gelbreife näherten, prangten die auf den letzten noch in frischem Grün. Die Ernte konnte demgemäss auf Parzelle 1—3 am 3. August vorgenommen werden, auf 4 und 5 vier Tage später, auf 6 erst am 19. August und auf 7 endlich erst an einem letzten Tage des August.

Indem also der Standraum verhundertfacht wurde, war es möglich, die Vegetationsdauer um 3—4 Wochen zu verlängern. Das damit im Zusammenhang stehende Wachsen der Produktion der einzelnen Pflanzen zeigen die Tabellen VII—IX. Die Länge der Ähren betrug auf Parzelle 7 im Mittel 6 cm mehr als auf Parzelle 1, in entsprechenden Abständen ordnen sich dazwischen die übrigen Parzellen ein. Die Anzahl der Körner wuchs im Durchschnitt von 10 Ähren pro Ähre um 7, das Ährengewicht bei gleicher Anzahl von untersuchten Ähren um das Doppelte (von 1,11 auf 2,44).

Die Körneranzahl ist aber nicht proportional mit der Ährenlänge gewachsen, sondern langsamer. Wäre sie im gleichen Mafse gestiegen, so müsste sie im Maximum 48 und nicht, wie dies tatsächlich, 35 betragen (s. Tabelle VIII). Daraus erhellt, dass mit dem Längerwerden die Ähren zugleich lockerer werden, d. h. die Körner rücken an der Ährenspindel weiter auseinander. Die natürliche Folge ist eine Gewichtszunahme des einzelnen Kornes. In dieser Hinsicht ist aber der Unterschied zwischen den einzelnen Parzellen nicht gross. Er beschränkt sich auf 6 gegenüber 1 auf 0,9 g; erst bei 7 wird er merklich grösser und steigt auf 2,1 g.

Tabelle VII.[1]) Länge der Ähren in Zentimeter am 10. Juli.

Parzelle No.						
1	2	3	4	5	6	7
9½	8½	11	8½	14	12½	14
9	9	9½	11	11	13	14½
10	10	10	10½	10½	12½	15
7½	8½	10½	11	12	10½	14½
8½	9½	9½	9½	10½	10½	15
10	10	9½	10	12	10½	14½
10	8½	9½	10½	10½	11½	16½
10	10½	11	9½	11	13	15
7	9½	9	10½	11	12½	15
8	10	10½	11	10½	15½	15
9	10	8½	11	11½	14½	14½
10	8½	10½	10½	11	14	13½
8½	10½	9	11	9½	14	15
8	8½	9½	11½	10	13½	16
9	8	9½	9½	10	11	14
9	8	8½	10½	11	12	15
8½	10½	10½	9	13½	13½	16
7½	9	11	10½	11	11	16
9	9	10½	10	11	11½	15
7½	9	9½	9	11	11½	14
8,8	9,02	9,8	10,2	11,2	12,4	14,9

= durchschnittliche Länge von je 20 Ähren in Zentimeter.

Tabelle VIII.[1])

Körneranzahl von 10 Ähren bei Parzelle						
1	2	3	4	5	6	7
33	25	32	31	31	34	36
31	27	31	26	30	33	35
32	23	31	26	32	28	33
27	30	30	24	30	30	35
29	31	29	30	27	31	35
28	32	28	32	31	31	34
31	31	27	26	31	29	36
23	30	25	26	29	30	36
26	25	28	29	30	30	36
25	26	25	33	30	32	36
Mittel 28,5	28	28,6	28,3	30,1	30,8	35,2

[1]) Wiederholte und im grösseren Massstabe vorgenommene Feststellungen führten zu gleichem Resultat.

Tabelle IX.

Parzelle No.	Gesamtgewicht pro qm g	Körnergewicht pro qm g	Verhältniszahl des Stroh- zu Korngewicht = 1 :	Körnergewicht in % des Gesamtgewichts	100 Korngewicht für jede Parzelle 3mal a	b	c	Mittel
1	955	401	0,72	42	4,11	3,86	4,07	4,01
2	855	359	0,72	42	3,99	4,00	4,12	4,03
3	672	301	0,81	44	4,49	4,5	4,25	4,41
4	720	329	0,81	45	4,71	4,73	4,71	4,71
5	1060	421	0,65	39	4,46	4,58	4,45	4,49
6	770	271	0,54	35	5,05	4,94	4,75	4,91
7	530	126	0,31	23	6,09	6,14	6,00	6,11

Wie mit ziemlicher Gewissheit vorauszusehen war, führten diese Beobachtungen zu gleichem Resultat wie die früheren, allerdings viel genaueren und massgebenderen von v. Liebenberg.

Auch er fand, dass bei grösserem Standraum längere, schwerere, lockere Ähren mit einer grösseren Zahl fruchtbarer Ährchen gebildet wurden, dass aber zugleich auch der Spindel- und Spelzenanteil am Gesamtgewicht der Ähre grösser wurde.

Das Längerwerden der Ährenspindel lässt eine Zunahme der Strohproduktion zuungunsten der Körnerproduktion vermuten, eine Vermutung, die durch Tabelle IX vollkommen gerechtfertigt wird. Denn während, das Gewicht des Strohes 1 gesetzt, das der Körner bei Parzelle 2 0,72 und bei 3 und 4 gar 0,81 beträgt, sinkt es in entsprechenden Abstufungen bei Parzelle 7 auf weniger als die Hälfte. Der prozentische Anteil der Körner am Gesamtgewicht sinkt in analoger Weise von 42 % bezw. 45 % bis auf 23 %.

Dennoch hat auf Parzelle 5 bei 200 qcm Standraum pro Pflanze sowohl die grösste Stroh- als auch die grösste Körnerproduktion stattgefunden, woraus zu folgern wäre, dass diese Standweite bei ganz gleichen Wachstumsbedingungen dem Optimum entspräche.

Jedoch steht diese Schlussfolgerung auf sehr schwachen Füssen, denn weil die Grösse der Parzellen nur eine sehr beschränkte sein konnte, war es nicht angängig, die Ernten von mehr als 1 qm einer jeden Parzelle zu bestimmen. Eine Umrechnung der so im kleinen Massstabe erhaltenen Zahlen auf grosse Flächeneinheiten führte aber zu ganz sonderbaren Ergebnissen, welchen die tatsächlichen Verhältnisse Hohn sprechen, und die weiter nichts bewiesen, als dass Ernten von 1 qm unmöglich ein Urteil gestatten über die Erträge derselben Sorte von 1 ha, einer zehntausendmal grösseren Fläche.

In Wirklichkeit wird ja auch niemand daran denken, aus in so kleinem Massstabe vorgenommenen Anbauversuchen auf die Ertragsfähigkeit der betreffenden Sorte überhaupt Schlüsse zu ziehen. Verhängnisvolle Irrtümer wären die natürliche Folge.

Zweck der letzten Seiten war es, die Tatsache zu beleuchten, dass man mit der Standweite, je nachdem man sie für jede Pflanze grösser oder

kleiner bemisst, bis zu einem gewissen Grade die Bestockung des Getreides und mit ihr die Vegetationszeit, die Ährenlänge, die Anzahl und das Gewicht der Körner, die Stroh- und die Körnerproduktion in Beziehung zueinander u. a. bis zu einer gewissen, je nach Art und Rasse allerdings verschieden gelegenen Grenze regulieren kann, das Ganze zwar lediglich eine Bestätigung früherer Ergebnisse, aber in seinen Einzelheiten zweifellos für den Getreidezüchter und in manchen Punkten vielleicht auch für den Praktiker von einem gewissen Wert.

Versuch III.

Bewurzelung und Bodenqualität.

Der Zweck dieses Versuches wurde bereits bei der Beschreibung seiner Anlage (S. 33) klargelegt. Ich beabsichtigte auf Grund desselben in 1. Linie festzustellen, ob ein an Nährstoffen reicher Boden der Pflanze eine wesentliche Erleichterung in der Arbeitsleistung, in der Bildung oberirdischer Substanz bringe, also ob sich das Verhältnis der Gewichte der oberirdischen Massen zu denen der unterirdischen mit zunehmendem Nährstoffreichtum des Substrats verringere, eine Erscheinung, die ja bei älteren Untersuchungen mitunter beobachtet wurde. (Deherain, v. Seelhorst.)

Leider stellten sich, wie wir S. 35 bereits andeuteten, im Wachstum der Versuchspflanzen sehr bald Unzuträglichkeiten ein, deren Gründe nirgends anders zu suchen sind als in der schlechten physikalischen Beschaffenheit, der starken Bindigkeit und schlechten Luftzirkulation in den schweren Bodenarten. Die getroffenen Vorsichtsmassregeln, die primitive, aus Zwischenlagerung einer Kieselsteinschicht bestehende Drainage und das öfter ausgeführte Auflockern der oberflächlichen Bodenschichten, wodurch wenigstens der Luft Zutritt verschafft wurde, erwiesen sich leider als unzureichend. Auch mag der Nährstoffzustand der Böden kein befriedigender gewesen sein, ganz abgesehen von dem Mangel an diesem oder jenem Nährstoff, namentlich auch bezüglich des Löslichkeitsgrades, den ja die Bodenanalyse, was die hauptsächlichsten Nährstoffe anlangt, nur in durchaus unzureichender Weise, bezw. überhaupt nicht anzueignen vermag.

Da also in den späteren Entwickelungsstadien hier und da einige Pflanzen abstarben und ihre Zahl in den einzelnen Töpfen bei der Ernte nicht mehr wie anfänglich durchweg 32 betrug, sondern zwischen 22 und 32 schwankte, so ist schon wegen des verschieden grossen Bodenvolumens pro Pflanze der Versuch als nicht einwandfrei zu bezeichnen.

Aber auch wenn wir uns hierüber hinwegsetzen würden, gestatten doch die in Tabelle X (S. 59) geordneten Zahlen kein Urteil über die oben aufgeworfene Frage, höchstens haben sie ein negatives Ergebnis geliefert. Denn die relativen Wurzelgewichte, um welche es sich hier besonders handelt, weisen bei den beiden jedesmal zusammengehörigen Kontrolluntersuchungen fast ebenso grosse Differenzen auf (die äussersten Grenzen sind 0,17 und 0,27), wie innerhalb der ganzen Versuchsreihe auftreten (0,16 und 0,27; s. Tabelle X, Spalte 15).

Tabelle X. Bewurzelung und Bodenqualität.

Topf No.	Bodenart	Mechanische Analyse. % abschlämmbare Teile	Gehalt der Böden in Prozenten an				Zahl der Pflanzen	Länge der Halme	Gewicht der oberirdischen Teile	Gewicht der Wurzeln			Verhältnis des Gewichtes der oberirdischen zu dem der unterirdischen Teile = 1 :	Wurzelmasse pro Pflanze
			N	P_2O_5	K_2O	CaO		cm	g	bis zu 30 cm g	von 30 bis 50 cm g	Summa g		g
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	toniger	56	0,109	0,106	0,069	0,378	31	60—70	42,7	—	-	11,5	0,27	0,371
2	Lehm		normal	normal	mässig	normal-gut	22	60—70	32	—	—	8,01	0,25	0,364
3	mittlerer	66	0,080	0,0406	0,072	0,385	32	50—65	19,7	3,66	1,84	5,50	0,279	0,172
4	Ton		mässig	arm	mässig	normal-gut	26	40—60	22,7	2,375	1,595	3,97	0,175	0,153
5	lehmiger	20	0,070	0,0504	0,0367	0,144	22	70—90	63	6,15	4,15	10,3	0,163	0,468
6	Sand		mässig	mässig	arm	mässig-arm	27	70 - 90	69	8,895	4,835	13,73	0,199	0,508
7	Sand oben,		—	—	—	—	31	60—75	57,5	7,095	4,39	11,485	0,199	0,370
8	Ton unten		—	—	—	—	30	60—80	58	8,67	5,567	14,235	0,245	0,472
9	Ton oben,		—	—	—	—	31	60—75	46,7	6,41	5,2	11,61	0,248	0,371
10	Sand unten		—	—	—	—	25	60—70	39	4,36	3,66	8,02	0,206	0,321

Der Effekt des grösseren Nährstoffreichtums in Topf 1 und 2 kam also durchaus nicht in der gehofften Weise zum Durchbruch, und trotz des weit geringeren Nährstoffgehalts im Sande brauchte daselbst die Wurzel im Verhältnis keine grössere Arbeit zu leisten, offenbar weil daselbst bei der ungleich besseren Durchlüftung ihre Atmung eine weit regere und sie selbst viel aktiver war. Statt der natürlich verschiedenartigen Böden hätte hier für alle Gefässe die Sandkulturmethode bei verschieden starker Düngung derselben angewandt werden sollen. Menge und Löslichkeitsgrad der Nährstoffe wären dann fast nach Belieben zu regulieren, der physikalische Zustand überall ein gleicher und der Erfolg zweifellos den Erwartungen weit entsprechender gewesen als so, wo, abgesehen von dem Nährstoffzustand, auch noch ein zweiter wichtiger Wachstumsfaktor, die physikalische Bodenbeschaffenheit, eine ungleiche war.

Trotzdem der Hauptzweck dieses Versuches also verfehlt ist, bringt er uns doch manches positive, was nun in gedrängter Übersicht hier folgen mag:

1. Schlechte physikalische Beschaffenheit, schlechte Luftzirkulation und geringere Erwärmung des Nährbodens drückte die Erträge mehr herab als Nährstoffmangel. Denn der tonige Lehmboden mit normalem bis reichlichem Gehalt an allen Nährstoffen (s. Tabelle X, 4—7) brachte nur 42 bezw. 32 g oberirdische Pflanzensubstanz, der schwere Ton gar nur 19 und 22 g, der Sandboden dagegen, in welchem alle Nährstoffe in unzureichender Weise vorhanden waren, 63 und 69 g. Der Durchführbarkeit mit schweren Böden vorgenommener Topfkulturen setzen sich also weit grössere Schwierigkeiten entgegen als Sandkulturen.

2. Wie die Erträge von Topf 6—10 beweisen, brachte der Hafer auf Sandboden mit Tonunterlage weit höhere Erträge (57 und 58 g) als auf Tonboden mit Sandunterlage (46 und 39 g), offenbar ebenfalls haupt-

sächlich aus physikalischen Gründen. Die im jugendlichen Stadium auf dem ihnen zuträglicheren, weil sauerstoffreicheren und wärmeren Sande wachsenden Pflanzen waren, als sie mit ihren Wurzeln bis zum Tonboden gelangten, gegen diese wenn auch physikalisch nunmehr ungünstigeren Standortsverhältnisse widerstandsfähiger und zur Assimilation der wohl im Tonboden sehr fest gebundenen Nährstoffe befähigter und gediehen deshalb besser als jene, welche schon in der frühesten Jugend auf den Tonboden angewiesen waren, dessen fest absorbierte Kali-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen sie zunächst nur in sehr beschränktem Maße zu assimilieren vermochten. Später, als sie mit der aktiven Zone ihrer Wurzel zum Sande gelangten, fanden sie wohl hier mehr Luft zum Atmen, aber alle Nährstoffe in noch unzureichenderer Weise vertreten. Im übrigen sind auch hier die relativen Wurzelgewichte, mochte der Untergrund aus Sand oder aus Ton bestehen, kaum merklich voneinander verschieden (sie betragen nämlich 0,199, 0,245, 0,248, 0,206).

3. Das Vorhandensein von Regenwürmern war in den vor ihrer Verwendung vollkommen lufttrocken gemachten Böden ganz ausgeschlossen und konnte auch während der Untersuchung nie beobachtet werden.

Gleichwohl waren in allen Böden, auch in dem mit fest zusammenschliessenden, extrem bindigen Boden, dessen Gehalt an abschlämmbaren Teilen 66 % betrug, die Wurzeln des Hafers unter starker Verzweigung, sich häufig den Seitenwänden der reichlich bemessenen 50 cm hohen Gefässe anschmiegend, in grosser Zahl bis zum Boden der letzteren gewachsen, wo sie ein sehr dichtes, filzähnliches Netz aus ihren Fasern gebildet hatten.

In diesem Falle fanden also die Wurzeln des Hafers vermöge eigener Kraft den Weg in den Untergrund. Daraus freilich kann keineswegs auf ihr Verhalten im freien Lande geschlossen werden, wo der Boden vielleicht während gewaltiger Zeiträume an einer Stelle lagert und natürlich ungleich härter wird als in Gefässen während einer Vegetationsperiode.

4. Nach einer Umrechnung auf die einzelne Pflanze ergibt sich trotz der ungleich grossen Anzahl von Pflanzen pro Topf recht befriedigende Übereinstimmung der Wurzelgewichte (s. Tabelle XI, Spalte 16). Nur einmal beträgt der Unterschied zwischen den beiden Kontrollbestimmungen 0,1 g, im übrigen bewegt er sich zwischen 0,01 und 0,05 g.

Mag daher auch vorliegender Versuch seinen Zweck verfehlt haben, so hat er, wie ich mich zu zeigen bemühte, immerhin manches Bemerkenswerte und für die Ergänzung dieser Arbeit nicht ganz Wertlose geliefert.

Tiefenwachstum der Getreidewurzeln nach verschiedenen Vorfrüchten.

Dass die Vorfrucht auf den Tiefgang der Getreidewurzeln einen gewissen Einfluss ausübt, kann durch die berühmt gewordenen Beobachtungen von Schultz-Lupitz u. a. als erwiesen angesehen werden.

Die Vorfrucht meiner Versuchspflanzen bei Versuch I und II war, wie wir sahen, 2jähriger Rotklee, eine Pflanze, welche ja weit und breit in praktischen Kreisen als Vorfrucht für besonders anspruchsvolle Gewächse,

wie Weizen und Raps, ausserordentlich geschätzt wird, in erster Linie, weil sie einer unserer besten Stickstoffsammler ist und sie in ihren Stoppel- und Wurzelrückständen auch eine nicht unbeträchtliche Menge verhältnismässig leicht löslicher Mineralstoffverbindungen im Boden zurücklässt; nicht zum mindesten aber wegen ihrer mechanischen, den Boden auflockernden und durchlüftenden, in physikalischer Hinsicht überhaupt verbessernden Vorarbeit, die sie im Interesse der nach ihr gebauten Früchte im Untergrunde leistet und weswegen sie als ein ausgezeichneter Regulator für den Wassergehalt des Bodens gilt. Denn bei Dürre finden die Wurzeln der Nachfrucht im Untergrunde, wohin sie auf den von den Rotkleewurzeln geebneten Wegen gelangen, Feuchtigkeit, bei übermässiger Nässe aber fliesst nach Klöcker das überschüssige Wasser in den alten Wurzelbahnen nach dem Untergrunde ab.

Sollte in vorliegendem Falle das Getreide seine tiefe Bewurzelung nicht auch in der Hauptsache seiner Vorfrucht zu verdanken haben? Diese Frage ist nicht ohne weiteres als grundlos von der Hand zu weisen und gab mir Veranlassung genug, die Verhältnisse auch nach anderen Vorfrüchten zu prüfen, was ich um so lieber tat, als eine besondere Versuchsanstellung dazu nicht erforderlich war und mir Herr Professor v. Rümker auch zu diesem Zwecke das Versuchsfeld liebenswürdigerweise zur Verfügung stellte.

Mit dem bekannten Erdbohrer operierte ich daher auf verschiedenen Stellen daselbst und stellte demgemäss endlich nachfolgende kleine Tabelle zusammen.

Tabelle XI.

Bezeichnung des Feldstückes	Frucht	Vorfrucht	Zahl der Wurzeln bei 50 cm Tiefe	Bodenqualität	Zahl der Wurzeln bei 75 cm Tiefe	Bodenqualität	Zahl der Wurzeln bei 100 cm Tiefe	Bodenqualität
Dreieck	Strubes begrannt. Sommerweizen	Zuckerrüben	60—70	lehmiger Ton	40	Lette, Anfänge von Sand	6	Übergang zum Sand.
Desgl.	desgl.	desgl.	58	Lette u. Lehm	19	Lehm bis Sand	3	lehmigerSand.
Parzelle No. 36	Beseler Hafer	Hafer	63	zäher lettiger Ton	56	Lette	10	desgl.
Parzelle No. 28	Roggen	Roggen	5	Lehm und feuchter Kies	5	grobkörniger feuchter Sand	—	—
Parzelle No. 30	desgl.	desgl.	54	strenger Lehm	50	strenger Lehm, Anfang von Sand	8	Anfang des grobkörnigen Sandes.
Desgl.	desgl.	desgl.	86	desgl.	50—60	desgl.	6	desgl.
Schlag VIII	Hafer	Weizen	60 ca.	Lehm, Übergang zum Sand	33	Anfang des grobkörnigen Sandes	einige Fasern	grobkörniger Sand.

Diese Zahlen (s. Tabelle XI, S. 61) beweisen deutlich, dass der Tiefgang der Getreidewurzeln bei meinen Versuchen I und II nicht die Folge der tiefen Bewurzelung des Rotklees gewesen sein kann. Denn von den 7 untersuchten Fällen mit anderen Vorfrüchten — zweimal waren es Zuckerrüben und fünfmal Getreide — ergaben die Wurzelzählungen auf 400 qcm Fläche bei den verschiedenen Tiefen (50, 75 und 100 cm) nur in einem einzigen wesentlich geringere Zahlen als bei Getreide nach Rotklee; in den übrigen 6 Fällen ist eine grosse Übereinstimmung mit den früheren Befunden unverkennbar. Am klarsten tritt die Sachlage bei den Ausgrabungen auf Parzelle 28 und 30 hervor, wo nach dem Prinzip der Einfelderwirtschaft jahraus jahrein nunmehr bereits seit 4 Jahren Roggen wächst. Zuerst glaubte ich hier in der Tat ein Nachlassen des Tiefenwachstums der Wurzeln konstatieren zu müssen; denn auf Parzelle 28 finden sich bereits bei 50 cm nur noch 5 Fasern, eine ganz erhebliche Abweichung von den bisherigen Befunden. Meine Vermutung aber, dass dies nur eine Folge der Bodenqualität im Untergrunde sei — der an sich etwas leichtere Boden daselbst geht bereits bei 30—40 cm Tiefe in einen grobkörnigen, kiesigen Sand über — wurde sehr bald gerechtfertigt durch die gleichfalls permanent mit Roggen bebaute Parzelle 30. Hier, wo die Mächtigkeit des schweren Bodens ebenfalls etwa 75 cm beträgt, bemerken wir eine vollkommene Analogie des Bewurzelungsmodus mit all den übrigen, vordem in so zahlreichen Fällen untersuchten Verhältnissen.

Jener Fall also zeigt, in wie hohem Grade die Tiefe der Bewurzelung von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt; die übrigen Befunde dagegen scheinen eine Bestätigung zu sein für die Richtigkeit der von manchen Autoren vertretenen Ansicht (s. S. 18), dass der Tiefgang der Getreidewurzeln, da wo es der Untergrund gestattet, nicht lediglich eine Folge anderweitiger Faktoren, sondern vielfach eine autonome Eigenschaft des Getreides sei.

Zusammenfassung und Schluss.

Zum Schluss dieser Abhandlung dürfte eine Zusammenfassung der hauptsächlichsten Ergebnisse am Platze sein. Es ergeben sich danach folgende Sätze:

1. Bei geeignetem Untergrunde bezieht das Getreide einen Teil seines Wasserbedarfes aus tieferen Bodenschichten, und zwar scheinen die Wurzeln desselben an sich, unabhängig von Wurm- und alten Wurzelröhren, wenn auch in beschränktem Maße, die Fähigkeit zu haben, in die Tiefe zu wachsen.
2. Der Hafer besass zur Zeit des Schossens und der Reife bedeutend höheres Wurzelgewicht als Gerste und Weizen.
3. Die genügsamen Sorten hatten ebenfalls vielfach höheres Wurzelgewicht als die anspruchsvollen (z. B. Lupitzer Sandweizen im Gegensatz zum Noë).
4. Die Getreidepflanzen legten im jugendlichen Entwickelungsstadium zunächst mehr Wert auf die Entwickelung ihres Wurzelsystems, als

auf das Wachstum der Sprosse; bei Weizen trat das noch mehr hervor als bei Hafer und Gerste.

5. Unterschiede im Bestockungsvermögen konnten zu Ungunsten der ertragreichen Sorten nicht konstatiert werden.
6. Verschiedene Standweiten beeinflussten die Chevaliergerste bezüglich der Bestockung, der Vegetationsdauer, der Stroh- und Körnerproduktion, der Ährenlänge und Ährenschwere, der Körnerzahl pro Ähre etc. ganz wesentlich, und zwar insofern in günstigem Sinne, als alle die genannten Momente bei dem einzelnen Pflanzenindividuum mit zunehmender Standweite auch gefördert wurden, was jedoch keineswegs auch für die Erträge von grossen Flächenheiten zutrifft.
7. Die Wurzelmasse und demgemäss die Ausnutzung des Bodens war bei 50, 105, 200 qcm pro Pflanze nicht geringer als bei 10 und 32 qcm.
8. Jeder Halm der Gerstenpflanzen produzierte annähernd gleich viel Wurzelmasse, mochten die Pflanzen sehr eng oder sehr weit voneinander entfernt stehen, wodurch er seine Unabhängigkeit in der Wurzelbildung vom Mutterorgan bewies.
9. Physikalisch günstigere Bodenbeschaffenheit bei Nährstoffmangel des Bodens förderte die Erträge mehr als Nährstoffreichtum, verbunden mit schlechter physikalischer Bodenbeschaffenheit.

Sich nur auf eine Vegetationsperiode erstreckende Versuche besitzen bekanntermassen einen nur untergeordneten Wert, da eine Verallgemeinerung ihrer Ergebnisse füglicherweise ausgeschlossen ist. Gleichwohl dürften die unter 1, 2, 4, 5 und 6 angeführten Sätze bei gleichen oder ähnlichen Wachstumsbedingungen auch im allgemeinen Sinne zutreffen. Aus der Literaturbesprechung wenigstens ist zu ersehen, dass eine Reihe älterer diesbezüglicher Untersuchungen, auf welche hier nicht mehr näher eingegangen werden kann, zu ganz ähnlichen Resultaten geführt haben.

Wenn wir nun versuchen, aus Untersuchungen, die vielleicht in mancher Hinsicht gar zu subtil erscheinen mögen, irgendwelche praktische Nutzanwendung zu machen, so liegt es, glaube ich, im Anschluss an Satz 1 bis 3 nicht allzu fern, dem Züchter auch die Bewurzelung des Getreides als ein bei dem Züchtungsverfahren wohl beachtenswertes Moment zu empfehlen. Zwar ist nicht anzunehmen, dass es ohne weiteres gelingen wird, Sorten mit besonders leistungsfähigem und tief in den Boden eindringendem Wurzelsystem zu schaffen, denn die Entwickelung des letzteren hängt ja, worauf hier noch einmal kurz verwiesen sei, ganz ausserordentlich von den Standorts- und Ernährungsverhältnissen ab. Standortsmodifikationen aber und Veränderungen, welche ihren Ursprung der Ernährung verdanken, sind im allgemeinen nicht samenbeständig und besitzen somit keinen züchterischen Wert.[1])

Vielleicht möchte aber doch bei der eminenten Bedeutung, die der in unsern Gegenden nur zu oft im Minimum vorhandene Wachstumsfaktor

[1]) v. Rümker, Getreidezüchtung S. 4.

Wasser für die Höhe der Erträge besitzt, und weil die Pflanze neben manchen anderem in einem starken und tiefgehenden Wurzelsystem die beste Gewähr dafür hat, dürre Perioden zu überstehen, der Versuch, den angeregten Gedanken auszuführen und auf starke und grössere Tiefen erreichende Bewurzelung zu züchten, der Mühe wert erscheinen. Einen ziemlich deutlichen Beweis für seine Durchführbarkeit scheint z. B. die Hannagerste zu liefern, welche, weil auch in trockenen Jahren relativ sichere und hohe Erträge liefernd, allgemein beliebt ist und zweifellos ihren geringen Wasserbedarf neben ihrer Frühreife nicht zum mindesten ihrem starken Bewurzelungsvermögen verdankt.

Zusammenstellung der benutzten Literatur.

1. Adorjan: „Die Nährstoffaufnahme des Weizens.“ Journal für Landwirtschaft 1902, S. 193.
2. Arker: „Die Beeinflussung des Wachstums der Wurzeln durch das umgebende Medium.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1902, S. 647.
3. v. Bretfeld: „Über die Einwirkung äusserer Einflüsse auf die normale Gestaltung der Weizenpflanze.“ Jahresbericht über Fortschritte auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1882, S. 189.
4. Czapek: „Wurzelausscheidungen.“ Jahresbericht über Fortschritte auf dem Gesamtgebiet der Landwirtschaft 1898, S. 41.
5. Derselbe: „Über Wurzelausscheidungen.“ Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen 1899, S. 467.
6. Ch. Darwin: „Die Bildung der Ackererde.“
7. Deherain: „Einfluss der Düngung auf die Länge der Pflanzenwurzeln.“ Fühling 1894, S. 584.
8. W. Dettmer: „Über den Einfluss äusserer Verhältnisse auf die Wurzelentwickelung.“ Landwirtschaftliche Versuchs-Stationon Bd. 15, S. 107.
9. Dost: „Welchen praktischen Wert hat die Kenntnis des Ackeruntergrundes und der Bewurzelung?“ Berlin 1898.
10. Eckert: „Über Keimung, Bestockung und Bewurzelung des Getreides.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1875, S. 191.
11. Elfring: „Galvanischer Strom und Wurzeln.“ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 5, S. 484.
12. Enckhausen: „Die Bildung der Ackererde durch die Tätigkeit der Regenwürmer.“ Journal für Landwirtschaft Bd. 30, S. 371.
13. Fittbogen: „Untersuchungen über die Aschenbestandteile der Haferwurzel und ihr Verhältnis zur oberirdischen Pflanze.“ Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen Bd. 6, S. 474.
14. C. Fraas: „Das Wurzelleben der Pflanzen.“ 1871.
15. Fruwirth: „Über die Ausbildung des Wurzelsystems der Hülsenfrüchte.“ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 18, S. 461.
16. W. Funke: „Zur Tiefkultur und Untergrunddüngung.“ Journal für Landwirtschaft 1895, S. 13.
17. Garola: „Untersuchungen über die Entwickelung von Wurzeln.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie Bd. 21, S. 117.
18. Haberlandt: „Das Gewichtsverhältnis zwischen den Wurzeln und den oberirdischen Pflanzenteilen.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1876, Bd. 9, S. 93.
19. Hecke: „Über den Verlauf der Nährstoffaufnahme der Kartoffel bei verschiedener Düngung.“ Journal für Landwirtschaft 1895, S. 285.
20. Heinrich: „Versuche über das Bewurzelungsvermögen der Kulturpflanzen.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1876, Bd. 10, S. 182.

21. Hellriegel: „Beiträge zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Ackerbaues.“

22. Derselbe: „Untersuchungen über den Einfluss des Bodenvolumens auf die Entwickelung der Wurzeln verschiedener Kulturgewächse.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie Bd. 12, S. 756.

23. Hensen: „Die Wurzeln in den tieferen Bodenschichten.“ Jahrbuch der D. L.-G. 1892, S. 84.

24. Derselbe: „Über die Fruchtbarkeit des Erdbodens in ihrer Abhängigkeit von den Leistungen der in der Erdrinde wohnenden Würmer.“ Landw. Jahrbücher Bd. 11, S. 661.

25. Hoffmann-Aderstedt: „Einfluss der Standweite auf die morphologische Beschaffenheit von Hafer und Lupine.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1902, S. 637.

26. Hosäus: „Über das Verhältnis der Wurzeln zu den oberirdischen Pflanzenorganen.“ Fühling 1872, S. 29.

27. Kloecker: „1. Zur Wirkung der Tiefwurzler; 2. Über ihre wirtschaftliche Bedeutung und 3. Ihre Beziehung zur Gesundung unserer Kulturen.“ Deutsche Landw. Presse 1900, S. 371, S. 469 und S. 631.

28. W. Knop: „Quantitative Arbeiten über den Ernährungsprozess der Pflanzen.“ Versuchs-Stationen 1863, S. 94.

29. W. Knop und W. Wolf: „Über Wasser- und Landwurzeln.“ Versuchs-Stationen 1865, S. 345.

30. Kohn: „Über Wurzelausscheidungen.“ Versuchs-Stationen 1899, S. 315.

31. Kossowitsch: „Über die Bestockungstiefe und ihre Abhängigkeit von einigen Wachstumsfaktoren.“ Jahresbericht über Fortschritte auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1894, S. 263.

32. C. Kraus: „Untersuchungen über die Bewurzlung der Kulturpflanzen in physiologischer und kultureller Beziehung.“ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 15—19.

33. Derselbe: „Das Wurzelsystem der Runkelrübe.“ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 11, S. 358.

34. J. Kühn: „Über die Untergrunddüngung mit besonderer Berücksichtigung hoher Bedeutung für Zuckerrüben.“ Berichte aus dem physiologischen Laboratorium der Universität Halle 1894, S. 160.

35. O. Lemmermann: „Über den Einfluss eines verschieden grossen Bodenvolumens auf den Ertrag und die Zusammensetzung der Pflanzen.“ Journal für Landwirtschaft 1903, S. 1.

36. v. Liebenberg: „Versuche über die entsprechende Reihenweite bei der Kultur von Gerste und Hafer mit gleichzeitiger Berücksichtigung der Einflüsse derselben auf die Qualität der Produkte.“ Mitteilungen zur Förderung des landwirtschaftlichen Versuchswesens in Österreich, IX. Heft 1889, S. 31, X. Heft 1890, S. 27 und XI. Heft 1891, S. 9.

37. G. Liebscher: „Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerlehre.“ Journal für Landwirtschaft 1887, S. 335—500.

38. Lippoldis: „Welchen Wert hat die Bestockungsfähigkeit des Getreides?“ Inaugural-Dissertation. Jena 1903.

39. O. Loew: „Die Bedeutung der Kalk- und Magnesiasalze in der Landwirtschaft.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1893, S. 621.

40. A. Mayer: „Lehrbuch für Agrikulturchemie.“ 1901.

41. Mer: „Über Veränderungen der Wurzel in Bau und Gestalt durch das umgebende Medium.“ Jahresbericht auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1882, S. 189.

42. Molisch: „Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrem normalen Wachstum durch Gase.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie Bd. 14, S. 402.

43. Müller-Thurgau: „Über Wachstum und Bedeutung der Wurzeln.“ Landw. Jahrbücher 1875, S. 999.

44. Derselbe: „Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Wurzeln.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1896, S. 595 und Untersuchungen über das Wurzelleben der Pflanzen 1901, S. 398.

45. Nobbe: „Die Pflanzenkultur in Wasser und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft.“ Versuchs-Stationen Bd. 11, S. 106.

46. Derselbe: „Versuche mit Rotklee, betreffend die Wirkung einer Lokalisierung der Nährstoffe auf die Wurzelbildung und das Wachstum der oberirdischen Organe.“ Journal für Landwirtschaft, Supplement 1872, S. 134.

47. Derselbe: „Zur Kenntnis der Bewurzlung der Gräser.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie Bd. 2, S. 226.

48. Noetger: „Die Wurzellänge der Zerealien in Beziehung zur Tiefkultur.“ Fühling 1867, S. 248.

49. Noll: „Exotropie der Wurzel.“ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 18, S. 389.

50. Nowacki: „Getreidebau.“

51. v. Proskowetz: „Bewurzelung verschiedener Gerstenvarietäten.“ Jahresbericht auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1894, S. 263.

52. Rimbach: „Beiträge zur Physiologie der Wurzel.“ Jahresbericht über Fortschritte auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1899, S. 215.

53. Remy: „Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und das Düngerbedürfnis des Roggens.“ Journal für Landwirtschaft 1896, S. 30.

54. Rimpau: „Untersuchungen über die Bestockung des Getreides.“ Landw. Jahrbücher 1903, S. 317.

55. Rippert: „Über die lösende Kraft der Wurzelausscheidungen.“ Fühling 1899, S. 421.

56. v. Rümker: „Neues über Sortenauswahl.“

57. Derselbe: „Getreidezüchtung.“

58. Derselbe: „Der Boden und die Bewirtschaftung des landw. Versuchsfeldes der Universität Breslau.“ Mitteilungen der landw. Institute der Universität Breslau 1900, 3. Heft, S. 1.

59. J. Sachs: „Vorlesungen.“

60. Schindler: „Pflanzenbau.“

61. Schribaux: „Experimentelle Untersuchungen über die Bestockung des Getreides.“ (Übersetzt von Rimpau.) Landw. Jahrbücher 1900, Bd. 29, S. 589.

62. Schuhmacher: „Die Bestockung des Getreides.“ Fühling 1868, S. 201.

63. Schultz-Lupitz und Werner-Berlin: „Über Bewurzelung der landwirtschaftlichen Kulturgewächse und deren Bedeutung für den praktischen Ackerbau.“ Berichte. Jahrbuch der D. L.-G. 1891, S. 71.

64. B. Schulze: „Serradella und Kalk.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie 1903, S. 715.

65. v. Seelhorst: „Beobachtungen über die Zahl und den Tiefgang der Wurzeln verschiedener Pflanzen bei verschiedener Düngung des Bodens.“ Journal für Landwirtschaft 1902, S. 91.

66. v. Seelhorst und Tucker: „Einfluss von Wassergehalt und Bodenreichtum auf die Ausbildung der Wurzeln und der oberirdischen Organe der Haferpflanze.“ Zentralblatt für Agrikulturchemie Bd. 28, S. 269.

67. v. Seelhorst: „Untersuchungen über den Einfluss schwefelsäurehaltiger Düngemittel auf die Wirkung gleichzeitig gegebener phosphorsäurehaltiger.“ Journal für Landwirtschaft 1903, S. 212.

68. Sissewitsch: „Die Bestockung der Getreidevarietäten.“ Jahresbericht über Forschungen auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1881, S. 187.

69. H. Thiel: „Bewurzelung.“ (Im Original nicht mehr vorhanden.)

70. Tucker, s. v. Seelhorst.

71. de Vries: „Die Wurzeln der Zuckerrübe.“ Landw. Jahrbücher Bd. 8, S. 16 u. 453.

72. Wacker: „Die Beeinflussung des Wachstums der Wurzeln durch das umgebende Medium.“ Jahresbericht über Fortschritte auf dem Gesamtgebiet der Agrikulturchemie 1898, S. 205.

73. P. Wagner: „Über Land- und Wasserwurzeln.“ Journal für Landwirtschaft Bd. 18, S. 103.

74. Werner-Berlin, s. Schultz-Lupitz.

75. W. Wolf, s. Knop.

76. Wollny: „Saat und Pflege.“

77. Wortmann: „Über den Thermotropismus der Wurzeln.“ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 8, S. 131.

78. Zollikofer: „Wie können wir die Bestockung unserer Getreidepflanzen befördern?“ Fühling 1893, S. 743.

Thesen.

1. Die analytische Bestimmung der Wurzelsekretionen unserer Kulturpflanzen würde zur Vervollkommnung der in praxi auszuführenden Düngungsmethoden beizutragen geeignet sein.

2. Der Versuch, durch methodische Zuchtwahl Getreidesorten mit leistungsfähigen und tiefgehenden Wurzeln zu schaffen, ist in Anbetracht der hohen Bedeutung, die eine möglichst gesicherte Wasserversorgung für das Gedeihen unserer Kulturen unbedingt hat, sehr wohl als der Mühe wert zu bezeichnen.

3. Eine Einschränkung des Zuckerrübenbaues ist, selbst wenn die Zuckerpreise noch mehr wie bisher fallen sollten, nach Möglichkeit zu vermeiden.

4. Die sich unter den Landwirten immer mehr geltend machende Tendenz, kaltblütige Pferde zu züchten, ist im Interesse der Wehrfähigkeit unseres Volkes nicht willkommen zu heissen.

Lebenslauf.

Als Sohn des Lehngutsbesitzers Oskar Opitz wurde ich, Kurt Opitz, evangelischer Konfession, am 25. November 1877 zu Semmelwitz bei Jauer geboren. Ostern 1887 trat ich in die Sexta des Gymnasiums zu Jauer ein, nach einem 3jährigen Besuch der Vorschule derselben Anstalt. Ostern 1897 ging ich ab mit dem Zeugnis der Reife. Bis zum Herbst 1900 war ich als praktischer Landwirt auf den Gütern Schlauphof, Puschkau, Frankenthal und Rausse in Schlesien tätig und bezog im Oktober desselben Jahres die Universität Halle, wo ich 2 Semester blieb, um mich im Oktober 1901 in Breslau immatrikulieren zu lassen. Während meines 7semestrigen Studiums besuchte ich die Vorlesungen, Praktika und Seminarien folgender Herren Professoren und Dozenten: Ahrens, Baumert, Brefeld, Cluss, Conrad, Düsselhorst, Frech, Freudenthal, Heedemann, Hintze, Holdefleiss, Kückenthal, Kühn, Klebs, Ladenburg, Luedecke, Märcker, v. Mendel-Steinfels, O. E. Meyer, Milch, v. Nathusius, Neumann, Pax, Pfeiffer, v. Rümker, Volz, J. Wolf. Ihnen allen bin ich zu grösstem Dank verpflichtet.